

#<sup>RS</sup>  
2

Docket No. 826.1597/JDH

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:

Ryuichi SUNAYAMA, et al.

Serial No.: To Be Assigned

Filed: March 20, 2000

For: DEVICE PREDICTING A BRANCH OF AN  
INSTRUCTION EQUIVALENT TO A  
SUBROUTINE RETURN AND A METHOD  
THEREOF

Group Art Unit: To Be Assigned

Examiner: To Be Assigned

16675 U.S. PTO  
09/533042  
03/23/00

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

*Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231*

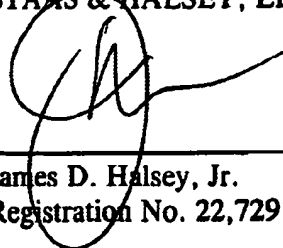
*Sir:*

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, Applicants submit herewith a copy of the following foreign applications:

Japanese Appln. No. 11-276221, filed September 29, 1999.

It is respectfully requested that Applicants be given the benefit of the earlier foreign filing date, as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,  
STAAS & HALSEY, LLP



Dated: March 20, 2000

By:

James D. Halsey, Jr.  
Registration No. 22,729

700 Eleventh Street, N.W., Suite 500  
Washington, D.C. 20001  
(202) 434-1500

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

J-675 U.S. PRO  
09/53042  
03/22/00

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: September 29, 1999

Application Number: Patent Application  
No. 11-276221

Applicant(s): FUJITSU LIMITED

February 14, 2000

Commissioner,  
Patent Office Takahiko Kondo

Certificate No. 2000-3006579

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

JCS75 U.S. PTO  
09/533042  
03/22/00

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
in this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application:

1999年 9月29日

出 願 番 号  
Application Number:

平成11年特許願第276221号

出 願 人  
Applicant(s):

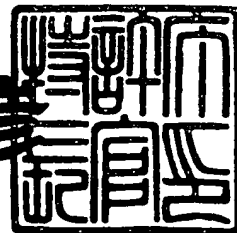
富士通株式会社

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2000年 2月14日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近 藤 隆 彦



【書類名】 特許願

【整理番号】 9902332

【提出日】 平成11年 9月29日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 9/38

【発明の名称】 サブルーチンリターン相当の命令の分岐予測を行う装置  
および方法

【請求項の数】 15

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通  
株式会社内

    【氏名】 砂山 竜一

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通  
株式会社内

    【氏名】 鵜飼 昌樹

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通  
株式会社内

    【氏名】 井上 愛一郎

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100074099

    【住所又は居所】 東京都千代田区二番町8番地20 二番町ビル3F

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 大菅 義之

    【電話番号】 03-3238-0031

【選任した代理人】

【識別番号】 100067987

【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区北寺尾 7-25-28-503

【弁理士】

【氏名又は名称】 久木元 彰

【電話番号】 045-573-3683

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705047

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 サブルーチンリターン相当の命令の分岐予測を行う装置および方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 サブルーチンコール相当の命令が検出されたとき、サブルーチンの戻り先アドレスを指定する情報を格納する格納手段と、

サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令が検出されたとき、該サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令の分岐先アドレスを指定する情報と、前記格納手段に格納された前記戻り先アドレスを指定する情報とを比較し、比較結果を出力する比較手段と、

前記比較結果に基づいて、前記サブルーチンコール相当の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令を識別する識別手段と

を備えることを特徴とする分岐予測装置。

【請求項 2】 前記格納手段は、前記サブルーチンコール相当の命令により指定されたリンクレジスタのレジスタ番号を、前記戻り先アドレスを指定する情報として格納することを特徴とする請求項 1 記載の分岐予測装置。

【請求項 3】 前記格納手段は、前記サブルーチンの戻り先アドレスを、前記戻り先アドレスを指定する情報として格納することを特徴とする請求項 1 記載の分岐予測装置。

【請求項 4】 サブルーチンの戻り先アドレスを指定する情報を格納するスタック手段と、

サブルーチンコール相当の命令が検出されたとき、前記戻り先アドレスを指定する情報を前記スタック手段にプッシュするプッシュ手段と、

サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令が検出されたとき、該サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令の分岐先アドレスを指定する情報と、前記スタック手段の先頭エントリに格納された前記戻り先アドレスを指定する情報とを比較し、比較結果を出力する比較手段と、

前記比較結果に基づいて、前記サブルーチンコール相当の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令を識別する識別手段と

を備えることを特徴とする分岐予測装置。

【請求項 5】 前記プッシュ手段は、前記サブルーチンコール相当の命令により指定されたリンクレジスタのレジスタ番号を、前記戻り先アドレスを指定する情報として前記スタック手段にプッシュし、前記比較手段は、前記サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令により指定された分岐先アドレスレジスタのレジスタ番号と、前記スタック手段の先頭エントリに格納されたレジスタ番号とを比較し、前記識別手段は、比較された 2 つのレジスタ番号が一致したとき、該サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令を、前記サブルーチンリターン相当の命令であると識別することを特徴とする請求項 4 記載の分岐予測装置。

【請求項 6】 前記識別手段は、前記分岐先アドレスレジスタのレジスタ番号が特定のレジスタに対応するとき、前記比較結果にかかわらず、前記サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令を、前記サブルーチンリターン相当の命令であると識別することを特徴とする請求項 5 記載の分岐予測装置。

【請求項 7】 前記プッシュ手段は、前記リンクレジスタのレジスタ番号が特定のレジスタに対応するとき、該リンクレジスタのレジスタ番号を前記スタック手段にプッシュしないことを特徴とする請求項 5 記載の分岐予測装置。

【請求項 8】 前記識別手段が、前記サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令を前記サブルーチンリターン相当の命令であると識別し、該サブルーチンリターン相当の命令による分岐が実行されたとき、前記スタック手段をポップするポップ手段をさらに備えることを特徴とする請求項 4 記載の分岐予測装置。

【請求項 9】 分岐予測のための分岐履歴情報を格納する予測手段をさらに備え、前記比較手段は、該分岐履歴情報が該予測手段に登録されるとき、前記分岐先アドレスを指定する情報と前記戻り先アドレスを指定する情報とを比較することを特徴とする請求項 1 記載の分岐予測装置。

【請求項 10】 サブルーチンコールとサブルーチンリターンの対応関係を崩す可能性がある事象が発生したとき、前記格納手段に格納された情報を無効化する手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 記載の分岐予測装置。

【請求項 11】 分岐予測のための分岐履歴情報を格納する予測手段をさら

に備え、前記サブルーチンコール相当の命令の直後の命令アドレスに戻らないサブルーチンリターン相当の命令が検出されたとき、検出されたサブルーチンリターン相当の命令の戻り先が異なることを示すフラグを該予測手段に設定する設定手段をさらに備えることを特徴とする請求項1記載の分岐予測装置。

【請求項12】 前記予測手段は、前記サブルーチンの戻り先アドレスを格納するリターンアドレススタック手段を含み、分岐予測時に前記フラグが認識された場合、該リターンアドレススタック手段をポップし、ポップされた戻り先アドレスを予測分岐先として用いないことを特徴とする請求項11記載の分岐予測装置。

【請求項13】 分岐予測のための分岐履歴情報を格納する予測手段と、該予測手段に登録されていないサブルーチンコール相当の命令が検出されたとき、所定のフラグをセットし、該登録されていないサブルーチンコール相当の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令が検出されたとき、該所定のフラグをリセットして、該予測手段では該対応するサブルーチンリターン相当の命令をサブルーチンリターン相当の命令とは認識しないような制御を行う手段とをさらに備えることを特徴とする請求項1記載の分岐予測装置。

【請求項14】 サブルーチンコール相当の命令が検出されたとき、サブルーチンの戻り先アドレスを格納するリターンアドレススタック手段と、

サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令が検出されたとき、該サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令の分岐先アドレスと、前記リターンアドレススタック手段に格納された前記戻り先アドレスとを比較し、比較結果を出力する比較手段と、

前記比較結果に基づいて、前記サブルーチンコール相当の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令を識別する識別手段と

を備えることを特徴とする分岐予測装置。

【請求項15】 サブルーチンコール相当の命令が検出されたとき、サブルーチンの戻り先アドレスを指定する情報を登録し、

サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令が検出されたとき、該サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令の分岐先アドレスを指定する情報と、



登録されている前記戻り先アドレスを指定する情報とを比較し、

前記分岐先アドレスを指定する情報と前記戻り先アドレスを指定する情報が一致すれば、前記サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令を、前記サブルーチンコール相当の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令であると識別し、

前記分岐先アドレスを指定する情報と前記戻り先アドレスを指定する情報が一致しなければ、前記サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令を、前記サブルーチンコール相当の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令ではないと識別し、

識別結果を用いて分岐予測を行う  
ことを特徴とする分岐予測方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、分岐予測機構を有する情報処理装置に係り、特に、サブルーチンリターンのための特別な命令が用意されていないアーキテクチャにおいて、サブルーチンリターン相当の命令の分岐予測を行う分岐予測装置およびその方法に関する。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

従来の命令処理装置においては、パイプライン処理やアウトオブオーダー処理のような技術を用いて、ある命令の実行の完了を待たずに後続の命令の実行を次々と開始することで、性能の向上が図られてきた。

##### 【0003】

パイプライン処理において、先行する命令が、分岐命令のように後続の実行シーケンスを変更する命令である場合、分岐が成立するときに、分岐先の命令を実行パイプラインに投入する必要がある。そうしなければ、実行パイプラインが乱され、最悪の場合は、逆に性能が落ちてしまう。

##### 【0004】

そこで、ブランチヒストリ（分岐予測テーブル）に代表される分岐予測機構を設けて、分岐の成立・不成立を予測することで、性能の向上が図られてきた。このような装置において、分岐の成立が予測された場合には、分岐命令の後に分岐先の命令が実行パイプラインに投入されるため、分岐が実際に成立したときに実行パイプラインが乱されることがない。

## 【0005】

また、サブルーチンリターン命令の分岐先（戻り先）は、その命令の性質上、実行の度に変化することが多い。これは、サブルーチンの呼び出し元であるサブルーチンコール命令の場所が実行の度に異なるためである。このような命令に対しては、リターンアドレススタックと呼ばれる専用の分岐予測機構を設けることで、性能の向上が可能となることが知られている。

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述した従来の分岐予測機構には、以下のような問題がある。

CPU（中央処理装置）アーキテクチャの中には、サブルーチンコール・リターン命令対として、あらかじめ特別な命令を準備していないものがある。このようなアーキテクチャにおいて、リターンアドレススタックを採用して性能向上を図るためには、実行される分岐命令の中から、サブルーチンコール・リターン相当の命令対を動的に抽出する技術が必要となる。

## 【0007】

ところが、従来の情報処理装置では、デコード時にサブルーチンコール・リターン命令であるか否かを静的に決定していたため、ハードウェアによる解釈と異なるプログラミングは好ましいものではなかった。この場合、好ましくないプログラミングにより、コール・リターン対の対応関係が、一旦、実際とずれてしまうと、リターンアドレススタックの特性上、それ以降の分岐先を次々と誤ることになる。このため、リターンアドレススタックが多段であればあるほど、性能を落としていた。

## 【0008】

図18は、このようなアーキテクチャにおいて使用される、サブルーチンコー

ル・リターン命令対を含むプログラムの例を示している。

この例では、メインルーチンの中の命令“b a l r 14, 15”により、サブルーチン S1 が呼び出され (C a l l 1)、さらにその中の命令“b a l r 15, 13”により別のサブルーチン S2 が呼び出されている (C a l l 2)。そして、条件リターン命令“b c r 7, 15”により制御がサブルーチン S1 に戻り (R e t u r n 2)、さらに無条件リターン命令“b c r 15, 14”によりメインルーチンに戻っている (R e t u r n 1)。

【0009】

ここで、命令処理装置が、特定のオペレーションコード“b a l r”を、サブルーチンコール相当の命令として認識し、特定のオペレーションコードとオペランドを含む無条件分岐命令“b c r 15, x” (x は任意) を、サブルーチンリターン相当の命令として認識するものとする。

【0010】

この場合、サブルーチン S2 の中の命令“b c r 7, 15”は、サブルーチンリターン相当の命令として認識されずに、見落とされる。このため、従来のリターンアドレススタックでは、C a l l 2 に対応するリターンが R e t u r n 1 であると認識してしまい、分岐予測に失敗する。実際には、C a l l 2 に対応する正しいリターンは、R e t u r n 2 である。

【0011】

また、命令処理装置が、オペレーションコード“b c r”を含むすべての命令を単純にサブルーチンリターン相当の命令として認識すると、サブルーチン S2 の中の単なる条件分岐命令である“b c r 4, 3”が、C a l l 2 に対応するリターンであると認識されてしまう。したがって、この場合も、リターンアドレススタックがコール・リターン対を誤認識することが分かる。

【0012】

このように、リターンアドレススタックを持つ情報処理装置においては、命令の実行時に、正しいサブルーチンコール・リターン命令対を認識することが重要になる。

【0013】

本発明の課題は、サブルーチンリターンのための特別な命令が用意されていない情報処理装置において、サブルーチンリターン相当の命令を正しく認識する分岐予測装置およびその方法を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】

図1は、本発明の分岐予測装置の原理図である。本発明の第1の局面において、分岐予測装置は、格納手段1、比較手段2、および識別手段3を備える。

【0015】

格納手段1は、サブルーチンコール相当の命令が検出されたとき、サブルーチンの戻り先アドレスを指定する情報を格納する。比較手段2は、サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令が検出されたとき、そのサブルーチンリターン相当の命令になり得る命令の分岐先アドレスを指定する情報と、格納手段1に格納された戻り先アドレスを指定する情報とを比較し、比較結果を出力する。識別手段3は、その比較結果に基づいて、上記サブルーチンコール相当の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令を識別する。

【0016】

実行された（実行される）命令が、サブルーチンコール相当の動作をする命令であるとき、その命令により指定される戻り先アドレスや戻り先アドレスを保持するレジスタの情報等が、戻り先アドレスを指定する情報として格納手段1に格納される。

【0017】

次に、実行された（実行される）命令が、サブルーチンリターン相当の動作をする命令である可能性があるとき、その命令により指定される分岐先アドレスや分岐先アドレスを保持するレジスタの情報等が、分岐先アドレスを指定する情報として選択され、比較手段2により、その情報が戻り先アドレスを指定する情報と比較される。

【0018】

そして、識別手段3は、分岐先アドレスを指定する情報と戻り先アドレスを指定する情報が一致すれば、後者の命令を前者の命令に対応するサブルーチンリタ

ーン相当の命令であると識別し、それらが一致しなければ、後者の命令を前者の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令ではないと識別する。

#### 【0019】

このように、サブルーチンの戻り先アドレスを指定する情報を用いることで、正しいサブルーチンコール・リターン相当の命令対を動的に抽出することができる。したがって、コール・リターン対の対応関係が正しく認識され、その対応関係のズレが防止される。

#### 【0020】

また、本発明の第2の局面において、分岐予測装置は、スタック手段4、プッシュ手段5、比較手段2、および識別手段3を備える。

スタック手段4は、サブルーチンの戻り先アドレスを指定する情報を格納する。プッシュ手段5は、サブルーチンコール相当の命令が検出されたとき、上記戻り先アドレスを指定する情報をスタック手段4にプッシュする。

#### 【0021】

比較手段2は、サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令が検出されたとき、そのサブルーチンリターン相当の命令になり得る命令の分岐先アドレスを指定する情報と、スタック手段4の先頭エントリに格納された戻り先アドレスを指定する情報とを比較し、比較結果を出力する。識別手段3は、その比較結果に基づいて、上記サブルーチンコール相当の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令を識別する。

#### 【0022】

サブルーチンコール相当の動作をする命令が検出されると、プッシュ手段5は、戻り先アドレスを指定する情報をスタック手段4にプッシュする。次に、サブルーチンリターン相当の動作をする命令である可能性がある命令が検出されると、比較手段2は、その命令の分岐先アドレスを指定する情報を、スタック手段4にプッシュされた戻り先アドレスを指定する情報と比較する。

#### 【0023】

そして、識別手段3は、分岐先アドレスを指定する情報と戻り先アドレスを指定する情報が一致すれば、後者の命令を前者の命令に対応するサブルーチンリタ

ーン相当の命令であると識別し、それらが一致しなければ、後者の命令を前者の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令ではないと識別する。

【 0 0 2 4 】

このように、サブルーチンの戻り先アドレスを指定する情報をスタック手段4にプッシュすることで、第1の局面の分岐予測装置と同様に、コール・リターン対の対応関係が正しく認識され、その対応関係のズレが防止される。

【 0 0 2 5 】

また、本発明の第3の局面において、分岐予測装置は、リターンアドレススタック手段6、比較手段2、および識別手段3を備える。

リターンアドレススタック手段6は、サブルーチンコール相当の命令が検出されたとき、サブルーチンの戻り先アドレスを格納する。比較手段2は、サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令が検出されたとき、そのサブルーチンリターン相当の命令になり得る命令の分岐先アドレスと、リターンアドレススタック手段6に格納された戻り先アドレスとを比較し、比較結果を出力する。識別手段3は、その比較結果に基づいて、上記サブルーチンコール相当の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令を識別する。

【 0 0 2 6 】

サブルーチンコール相当の動作をする命令が検出されると、その命令により指定された戻り先アドレスがリターンアドレススタック手段6にプッシュされる。次に、サブルーチンリターン相当の動作をする命令である可能性がある命令が検出されると、比較手段2は、その命令の分岐先アドレスを、リターンアドレススタック手段6にプッシュされた戻り先アドレスと比較する。

【 0 0 2 7 】

そして、識別手段3は、分岐先アドレスと戻り先アドレスが一致すれば、後者の命令を前者の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令であると識別し、それらが一致しなければ、後者の命令を前者の命令に対応するサブルーチンリターン相当の命令ではないと識別する。

【 0 0 2 8 】

このように、リターンアドレススタック手段6にプッシュされた戻り先アドレ

スを、直接、命令の分岐先アドレスと比較することで、第 1 の局面の分岐予測装置と同様に、コール・リターン対の対応関係が正しく認識され、その対応関係のズレが防止される。

#### 【0029】

例えば、図 1 の格納手段 1 およびスタック手段 4 は、後述する図 3 のリンクスタック 33、またはリターンアドレススタック 35 に対応する。また、例えば、図 1 の比較手段 2 と識別手段 3 は、後述する図 11 の EXNOR 回路 101、OR 回路 102、および AND 回路 103、または後述する図 17 の比較回路 151 および AND 回路 152 に対応する。また、図 1 のプッシュ手段 5 は、後述する図 12 の制御回路に対応し、図 1 のリターンアドレススタック手段 6 は、図 3 のリターンアドレススタック 35 に対応する。

#### 【0030】

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

命令処理装置においては、サブルーチンコール相当の命令により、戻り先のアドレスを格納するリンクレジスタが指定され、指定されたリンクレジスタを用いて、サブルーチンリターン相当の命令による分岐が行われる。

#### 【0031】

サブルーチンコールまたはリターン相当の命令は、例えば、図 2 に示すように、オペレーションコード（OP コード）11、第 1 オペランド 12、および第 2 オペランド 13 を含む。サブルーチンコール相当の命令においては、第 1 オペランド 12 が、リンクレジスタのレジスタ番号を表し、サブルーチンリターン相当の命令においては、第 2 オペランド 13 が、分岐先アドレスを格納するレジスタのレジスタ番号を表す。

#### 【0032】

そこで、本実施形態においては、サブルーチンコール時に指定されたリンクレジスタのレジスタ番号を記録するリンクスタックを設ける。そして、リンクスタックに記録された番号のレジスタ内のアドレスを分岐先アドレスとして用いる分岐命令が出現したとき、その分岐命令をサブルーチンリターン相当の命令と認識

する。

【0033】

このような制御によれば、リンクレジスタのレジスタ番号をリンク情報として用いて、サブルーチンコール相当の命令とサブルーチンリターン相当の命令を対応付けることができ、サブルーチンコール・リターン相当の命令対を動的に抽出することが可能になる。したがって、コール・リターン対の対応関係を正しく認識することができ、その対応関係のズレが防止されるので、リターンアドレススタックによる分岐予測の精度が向上する。

【0034】

例えば、図18の例の場合、コール命令に含まれるリンクレジスタの番号と、リターン命令に含まれる分岐先アドレスレジスタの番号を比較すれば、正しいコール・リターン対を認識することができ、分岐予測も成功する。

【0035】

Call 1の命令“balr 14, 15”の第1オペランドは、リンクレジスタの番号が“14”であることを表しており、Return 1の命令“bcr 15, 14”の第2オペランドは、分岐先アドレスレジスタの番号が“14”であることを表している。したがって、後者の命令は、Call 1に対応するリターン相当の命令であると認識される。

【0036】

また、Call 2の命令“balr 15, 13”の第1オペランドは、リンクレジスタの番号が“15”であることを表しており、Return 2の命令“bcr 7, 15”の第2オペランドは、分岐先アドレスレジスタの番号が“15”であることを表している。したがって、後者の命令は、Call 2に対応するリターン相当の命令であると認識される。

【0037】

次に、特別なサブルーチンコール・リターン命令対を準備していないアーキテクチャの一例を用いて、本実施形態における情報処理装置の動作をより詳細に説明する。このようなアーキテクチャは、例えば、ESA (enterprise systems architecture) / 390のPOO (principles of operation) により規定され



ている。

【0038】

サブルーチンコールとして使用可能な命令としては、サブルーチンリターン相当の命令による戻り先のアドレス（リンクアドレス）をレジスタに保存可能である命令が考えられる。このような命令には、bal、balr、bas、basr、bassm等がある。

【0039】

また、サブルーチンリターンとして使用可能な命令としては、一般の分岐命令のほとんどが挙げられる。これらの中でも、特に、分岐先アドレスを1つのレジスタで指定する分岐命令、すなわち、RR形式命令が用いられやすい。RR形式命令には、bcr、bsm等がある。もちろん、これらの命令は、通常は無条件分岐命令あるいは条件分岐命令としても用いられる。

【0040】

また、このようなアーキテクチャでは、出現頻度は低いものの、サブルーチンコール・リターン対を崩し得る命令も存在し得る。このような命令としては、例えば、lpswや、bc等のRX形式命令が挙げられる。また、一部の割り込み事象においても、サブルーチンコール・リターン対が崩されることがある。

【0041】

bcに代表されるRX形式の分岐命令は、リターン先アドレスを1つのレジスタのみで指定するとは限らず、特に、ディスプレイメントを指定する場合がある。他にも、リンクレジスタの値を書き換える等の処理により、戻り先アドレスが変更される場合もある。

【0042】

このような命令がサブルーチンリターンとして使用された場合、コール時にリターンアドレススタックに登録された戻り先アドレスが正しくならないので、リターン時にリターンアドレススタックを参照しないことが望ましい。その代わりに、通常に分岐命令と同じように、ブランチヒストリに登録されている予測分岐先を参照すれば、正しい戻り先アドレスが得られる可能性がある。

【0043】

また、l p s w は、分岐先アドレスをレジスタで直接指定せず、オペランドが指すメモリ上のデータ列を分岐先アドレスとして用いる。このような命令列が出現した場合には、コール・リターン対の対応関係が崩れてしまう可能性がある。あるいはまた、割り込みが発生した場合にも、その割り込みの種類によっては、同様にコール・リターン対が崩れてしまうことがある。

## 【0044】

そこで、リターンアドレススタックに何らかの機構を組み込む必要がある。その一方法として、このような命令が実行されたときやこのような割り込みが発生したときに、リターンアドレススタックとリンクスタック双方のエントリをすべて消去してしまうことが考えられる。このような制御により、リターンアドレススタックの対応のズレが防止され、発生したズレにそれ以降の予測結果が引き摺られて性能が劣化することはなくなる。

## 【0045】

また、基本的な分岐命令がハードワイヤードで実現されているにもかかわらず、一部の分岐命令は、他の複雑な動作を伴うために、マイクロコードにより制御されている場合がある。このような複雑な分岐命令は、回路が複雑になるわりには得るものが少ない等の理由で、ブランチヒストリに登録しているメリットがない。このため、リターンアドレススタックも動作しない。

## 【0046】

しかしながら、前述したように、このような複雑な命令でも、サブルーチンコールもしくはリターン相当の命令になり得る場合には、その命令に対する対策を講じなければ、リターンアドレススタックの対応がずれてしまい、性能劣化の原因となる。

## 【0047】

そこで、ブランチヒストリに登録されていないサブルーチンコール相当の分岐命令が実行された後に、それに対応すると考えられるサブルーチンリターン相当の命令が検出されたとき、ブランチヒストリおよびリターンアドレススタックにおいて、そのサブルーチンリターン相当の命令をリターン相当の命令とは認識しないような制御を行う。

## 【0048】

また、プログラム指針書等により特定のレジスタをリンクレジスタとして使用することが推奨される場合等のように、特定のレジスタがリンクレジスタとして非常に多く使われることがある。このようなシステムでは、その特定のレジスタを用いる命令を、常に、サブルーチンコールまたはリターン相当の命令と認識することにする。これにより、リンクスタックのエントリを効率的に用いることができ、規模の小さなリンクスタックでも大きな効果が得られる。

## 【0049】

また、分岐命令において、分岐先アドレスのレジスタ番号として“0”を指定すると、分岐は行われず。このようなアーキテクチャでは、レジスタ番号“0”をリンク情報として、対応するサブルーチンリターン相当の命令を判別することは不可能である。そこで、サブルーチンコール相当の命令において、リンクレジスタの番号として“0”が指定されたときには、この命令をサブルーチンコール相当の命令として認識しないようにする。

## 【0050】

図3は、本実施形態における命令処理装置の構成図である。図3の命令処理装置は、命令フェッチ回路21、分岐予測機構22、デコーダ23、分岐先アドレス生成回路24、分岐命令実行処理回路25、および命令実行完了処理回路26を備え、命令をアウトオブオーダー方式で処理する。アウトオブオーダー処理方式を採用した命令処理装置においては、性能の向上を図るため、1つの命令実行の完了を待たずに、後続の命令列が順次複数のパイプラインに投入される。

## 【0051】

命令フェッチ回路21と分岐予測機構22は、命令フェッチパイプラインの回路に対応する。分岐予測機構22は、予測回路31、比較回路32、およびリンクスタック33を含み、予測回路31は、ブランチヒストリ34とリターンアドレススタック35を含む。

## 【0052】

また、デコーダ23、分岐先アドレス生成回路24、分岐命令実行処理回路25、および命令実行完了処理回路26は、命令実行パイプラインの回路に対応す

る。分岐命令実行処理回路 25 は、複数の R S B R (Reservation Station for BRanch) 36 を含む。

#### 【0053】

命令フェッチパイプラインは、命令アドレス発行サイクル (I A)、テーブルサイクル (I T)、バッファサイクル (I B)、および結果サイクル (I R) を含み、命令実行パイプラインは、デコードサイクル (D)、アドレス計算サイクル (A)、実行サイクル (X)、更新サイクル (U)、およびライトサイクル (W) を含む。

#### 【0054】

R S B R 36 は、分岐命令を制御するための処理待ちのスタックである。分岐命令実行処理回路 25 は、アウトオブオーダー処理方式に従って、スタック内の処理可能なエントリを選択し、プログラムにより指示された順序とは異なる順序で、随時、分岐命令を実行することができる。

#### 【0055】

R S B R 36 で扱われる分岐命令のうち、b a l、b a l r (ただし、b a l r 1, 14 を除く)、b r a s、b a s、および b a s r は、サブルーチンコール相当の命令として扱われ、b c r、b s m、b a l r 1, 14 は、サブルーチンリターン相当の命令として扱われる。また、b a s s m は、サブルーチンコール相当の命令ではあるが、R S B R 36 では扱われない複雑命令である。

#### 【0056】

分岐命令実行処理回路 25 が分岐命令を実行した結果、分岐が生じることが判明した場合、分岐先の命令アドレスと分岐命令自身の命令アドレスが、対にしてブランチヒストリ 34 に登録される。そして、命令フェッチ回路 21 は、分岐命令をフェッチしたとき、次の命令のフェッチに先立ってブランチヒストリ 34 を検索し、分岐先を予測する。

#### 【0057】

また、デコーダ 23 がサブルーチンコール相当の命令を検出したとき、その命令のオペランドが表すリンクレジスタの番号がリンクスタック 33 にプッシュされ、対応する戻り先の命令アドレスがリターンアドレススタック 35 にプッシュ

される。

【0058】

また、デコーダ23がサブルーチンリターン相当の命令になり得る命令を検出すると、比較回路32は、リンクスタック33の先頭エントリに登録されているレジスタ番号と、検出された命令のオペランドが表す分岐先アドレスレジスタの番号を比較する。そして、2つのレジスタ番号が一致すれば、その命令がサブルーチンリターン相当の動作をする命令であると判断し、比較結果を予測回路31に出力する。

【0059】

このとき、リンクスタック33からレジスタ番号がポップされ、リターンアドレススタック35から対応する命令アドレスがポップされる。そして、ポップされた命令アドレスが、予測分岐先として命令フェッチ回路21に渡される。

【0060】

リンクスタック33のエントリは、図4に示すように、リターンアドレススタック35のエントリと1対1に対応しており、これらの2つのスタックは、同時にプッシュ動作およびポップ動作を行う。ここでは、リンクスタック33のエントリには、4ビットのレジスタ番号〈0:3〉が格納されており、リターンアドレススタック35のエントリには、32ビットの分岐先アドレス〈0:31〉が格納されている。これらのスタックは、一般に、 $n$ 個 ( $n \geq 1$ ) のエントリからなる  $n$  段のスタックとして実装される。

【0061】

図5は、図3の命令処理装置において用いられる信号を示している。デコーダ23は、信号+D\_BALR、+D\_BAL、+D\_BRAS、+D\_BAS、+D\_BASR、+D\_BALR\_1E、+D\_BCR、+D\_BSM、+D\_BASSM、および+D\_OPC〈8:15〉を分岐命令実行処理回路25に出力する。

【0062】

信号+D\_BALR、+D\_BAL、+D\_BRAS、+D\_BAS、+D\_BASR、+D\_BALR\_1E、+D\_BCR、+D\_BSM、および+D\_

BASSMは、それぞれ、balr、bal、bras、bas、basr、balr 1, 14、bcr、bsm、およびbassmが検出されたときに、論理“1”となる。また、信号+D\_OPC<8:15>は、機械語命令のビット<8:15>のデータを表す。

## 【0063】

分岐命令実行処理回路25は、信号+BRHIS\_UPDATE\_\_SUBROUTINE\_\_CALL、+BRHIS\_UPDATE\_\_SUBROUTINE\_\_RTN、+BRHIS\_UPDATE\_\_CALL\_\_RTN\_\_REG<0:3>、+BRHIS\_UPDATE\_\_BSM、および+D\_BASSMを分岐予測機構22に出力する。

## 【0064】

信号+BRHIS\_UPDATE\_\_SUBROUTINE\_\_CALLは、命令がサブルーチンコール相当の命令と判別されたときに論理“1”となり、信号+BRHIS\_UPDATE\_\_SUBROUTINE\_\_RTNは、命令がサブルーチンリターン相当の命令になり得る命令と判別されたときに論理“1”となる。また、信号+BRHIS\_UPDATE\_\_CALL\_\_RTN\_\_REG<0:3>は、命令のオペランドにより指定されたレジスタ番号を表し、信号+BRHIS\_UPDATE\_\_BSMは、bsm命令の実行が完了したときに論理“1”となる。

## 【0065】

次に、図6から図17までを参照しながら、図3の命令処理装置の構成と動作についてより詳細に説明する。

まず、デコーダ23による命令デコード時に、図5に示した信号がRSBR36に入力され、サブルーチンコール相当の命令とサブルーチンリターン相当の命令になり得る命令が判別される。このうち、サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令については、後述するリンクスタック33の回路により、サブルーチンリターンとのより厳密な対応関係が識別されることになる。

## 【0066】

図6は、RSBR36内の判別回路を示している。図6において、入力信号一

D\_\_BALR\_\_1Eは、図5の信号+D\_\_BALR\_\_1Eの否定を表し、命令“balr 1, 14”がデコードされたときに論理“0”となる。AND回路41は、入力信号+D\_\_BALRと-D\_\_BALR\_\_1Eの論理積を、OR回路42に出力する。したがって、“balr 1, 14”以外のbalr命令がデコードされたとき、AND回路41の出力は論理“1”となる。

## 【0067】

OR回路42は、AND回路41からの出力信号と、入力信号+D\_\_BAL、+D\_\_BRAS、+D\_\_BASR、および+D\_\_BASの論理和を、信号+D\_\_SUBROUTINE\_\_CALLとして出力する。この信号+D\_\_SUBROUTINE\_\_CALLは、デコードされた命令がサブルーチンコール相当の命令であるときに論理“1”となるフラグとして用いられる。

## 【0068】

また、OR回路43は、入力信号+D\_\_BALR\_\_1E、+D\_\_BCR、および+D\_\_BSMの論理和を、信号+D\_\_SUBROUTINE\_\_RETURNとして出力する。この信号+D\_\_SUBROUTINE\_\_RETURNは、デコードされた命令がサブルーチンリターン相当の命令になり得る命令であるときに論理“1”となるフラグとして用いられる。

## 【0069】

デコードされた命令が分岐命令であれば、通常は、デコード結果がRSBR36に登録される。この時点で、RSBR36には、サブルーチンコール・リターン判別結果を表すフラグと、リンクレジスタや分岐先アドレスレジスタの情報等が登録される。

## 【0070】

ESA/390 POOのアーキテクチャでは、サブルーチンコール相当の命令になり得る命令（機械語命令）のビット〈8:11〉にリンクレジスタの番号が指定され、サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令（機械語命令）のビット〈12:15〉に分岐アドレスレジスタの番号が指定される。そこで、ビット〈8:15〉のデータがこれらのレジスタの情報として登録される。

## 【0071】

図7は、RSBR36内の登録回路を示している。図7において、入力信号+RSBR\_VALIDは、対応するRSBR36が有効である間、論理“1”となる。ラッチ回路51は、入力信号+D\_OPC<8:15>の値をラッチし、信号+RSBR\_OPC<8:15>として出力する。

## 【0072】

また、ラッチ回路52は、図6の判別回路が生成したフラグ+D\_SUBROUTINE\_CALLと+D\_SUBROUTINE\_RETURNの値をラッチし、それぞれ、信号+RSBR\_SUBROUTINE\_CALLと+RSBR\_SUBROUTINE\_RETURNとして出力する。

## 【0073】

信号+RSBR\_VALIDが論理“1”となると、これらの情報の登録が終了し、対応するRSBR36が有効である間、ラッチ回路51、52に登録された情報が保持される。

## 【0074】

次に、分岐履歴情報の更新時において、RSBR36に登録されたサブルーチンコール・リターン判別結果とレジスタ情報が、その他の分岐履歴情報と同時に、分岐予測機構22へ送出される。サブルーチンコール相当の命令である場合は、リンクレジスタの番号がレジスタ情報として選択され、サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令である場合は、分岐先アドレスレジスタの番号がレジスタ情報として選択される。

## 【0075】

図8は、RSBR36内の選択回路を示している。図8において、AND回路61は、図7の登録回路からの信号+RSBR\_SUBROUTINE\_CALLと+RSBR\_OPC<8:11>の論理積を、OR回路63に出力する。したがって、フラグ+RSBR\_SUBROUTINE\_CALLが立っているときは、リンクレジスタの番号がAND回路61から出力される。

## 【0076】

また、AND回路62は、図7の登録回路からの信号+RSBR\_SUBROUTINE\_RETURNと+RSBR\_OPC<12:15>の論理積を、O



R回路63に出力する。したがって、フラグ+RSBR\_\_SUBROUTINE\_\_RETURNが立っているときは、分岐先アドレスレジスタの番号がAND回路62から出力される。

【0077】

そして、OR回路63は、AND回路61、62の出力信号の論理和を、信号+RSBR\_\_CALL\_\_RETURN\_\_REG<0:3>として出力する。ここで、フラグ+RSBR\_\_SUBROUTINE\_\_CALLと+RSBR\_\_SUBROUTINE\_\_RETURNが同時に立つことはないので、OR回路63は、AND回路61、62の出力信号を選択的に出力することになる。

【0078】

信号+RSBR\_\_SUBROUTINE\_\_CALL、+RSBR\_\_SUBROUTINE\_\_RETURN、および+RSBR\_\_CALL\_\_RETURN\_\_REG<0:3>は、それぞれ、図5の信号BRHIS\_\_UPDATE\_\_SUBROUTINE\_\_CALL、BRHIS\_\_UPDATE\_\_SUBROUTINE\_\_RTN、+BRHIS\_\_UPDATE\_\_CALL\_\_RTN\_\_REG<0:3>として、分岐予測機構22へ送出される。

【0079】

ところで、前述したように、分岐命令（サブルーチンリターン相当の命令を含む）において、分岐先アドレスレジスタの番号として“0”を指定すると、分岐は行われず。また、逆に、デコード時にサブルーチンコール相当の命令と判別された命令でも、リンクレジスタの番号として“0”が指定された場合には、この命令をサブルーチンコール相当の命令として識別しない方がよい。

【0080】

そこで、図9のような識別回路を分岐予測機構22に設けて、送られてきたレジスタ番号が“0”でないときにのみ有効となる制御信号を生成する。図9において、NAND回路71は、信号+BRHIS\_\_UPDATE\_\_CALL\_\_RTN\_\_REG<0:3>の4つのビットの否定の論理積を求め、その論理積の否定を信号+SBRTN\_\_LINK\_\_REG\_\_VALとして出力する。

【0081】

したがって、この出力信号は、信号+BRHIS\_UPDATE\_CALL\_RTN\_REG<0:3>が表すレジスタ番号が“0”でないときにのみ、論理“1”となり、リンクレジスタが有効であることを表す。この信号を用いたリンクスタック33の制御については、後述することにする。

#### 【0082】

分岐命令が分岐しないことを表す分岐先アドレスレジスタの番号として、“0”以外の特定の番号が用いられた場合も、図9と同様の回路により同様の制御信号が生成される。

#### 【0083】

また、サブルーチンコールとして使用可能なbassm命令については、ハードワイヤードではなく、マイクロコードにより実現されるため、ブランチヒストリ34には登録されず、分岐履歴情報の更新時に情報が送られてこない。その代わりに、デコード時に生成された図5の信号+D\_BASSMが分岐予測機構22に送出される。

#### 【0084】

そこで、図10のような識別回路を分岐予測機構22に設けて、bassm命令に関する制御を行う。ここでは、bassm命令に対応するリターン命令はbsmのみであるものと仮定している。

#### 【0085】

図10において、AND回路81は、ラッチ回路83の出力とNAND回路84の出力の論理積をOR回路82に出力し、OR回路82は、入力信号+D\_BASSMとAND回路81の出力信号の論理和をラッチ回路83に出力する。ラッチ回路83は、実質的にSet-Resetフリップフロップの動作を行い、OR回路82の出力信号をラッチして、NAND回路84に出力する。

#### 【0086】

また、NAND回路84は、図5の信号+BRHIS\_UPDATE\_BSMと、図9の制御信号+SBRTN\_LINK\_REG\_VALと、ラッチ回路83の出力信号の論理積の否定を、信号-SBRTN\_BASSM\_BSM\_RTN\_INVALIDとして出力する。この信号-SBRTN\_BASSM\_BSM\_

RTN\_VALIDは、論理“0”のとき、実行されたb s m命令が上記b a s s m命令に対応するリターン命令であることを表す。

#### 【0087】

このような識別回路によれば、分岐するb a s s m命令が実行された場合には、信号+D\_BASSMが論理“1”となり、ラッチ回路83の出力も論理“1”となる。そして、ラッチ回路83の出力と図9の信号+SBRTN\_LINK\_REG\_VALが論理“1”である間に、b s m命令の実行が完了して信号+BRHIS\_UPDATE\_BSMが論理“1”となると、実行されたb s m命令は上記b a s s m命令に対応するリターン命令であると識別される。

#### 【0088】

このとき、信号-SBRTN\_BASSM\_BSM\_RTN\_VALIDが論理“0”となるため、AND回路81の出力も論理“0”となる。また、信号+D\_BASSMも論理“0”であるため、ラッチ回路83の出力も論理“0”となる。

#### 【0089】

このように、ラッチ回路83の出力信号は、b a s s m命令およびb s m命令が検出されたことを表す所定のフラグとして用いられ、分岐するb a s s m命令が検出されたときにセットされ、それに対応するb s m命令が検出されたときにリセットされる。

#### 【0090】

また、信号-SBRTN\_BASSM\_BSM\_RTN\_VALIDと同時に、不図示の信号+SBRTN\_BASSM\_BSM\_RTN\_VALIDも生成される。この信号+SBRTN\_BASSM\_BSM\_RTN\_VALIDは、信号-SBRTN\_BASSM\_BSM\_RTN\_VALIDの否定に対応し、論理“1”のとき、実行されたb s m命令が上記b a s s m命令に対応するリターン命令であることを表す。

#### 【0091】

こうして識別されたb a s s m命令に対応するb s m命令は、ブランチヒストリ34あるいはリターンアドレススタック35上では、リターン相当の命令とは

認識されなくなる。なぜなら、b a s s m命令自身がコール相当の命令として登録されていないからである。

#### 【0092】

分岐予測機構22は、分岐命令実行処理回路25から送られてきた信号と、図9および図10の識別回路により生成された特別な制御信号とを用いて、サブルーチンコール・リターン相当の命令を判別する。

#### 【0093】

図11は、分岐予測機構22内の判別回路を示している。図11において、入力信号-BR H I S \_ U P D A T E \_ S U B R O U T I N E \_ R T Nは、図5の信号+BR H I S \_ U P D A T E \_ S U B R O U T I N E \_ R T Nの否定に対応する。

#### 【0094】

また、入力信号+R T N \_ L I N K \_ R E G \_ S T K 0 < 0 : 3 > は、リンクスタック33の先頭エントリに保持されたレジスタ番号を表す。入力信号+S B R T N \_ L I N K \_ R E G \_ E Q \_ Eは、図5の信号+BR H I S \_ U P D A T E \_ C A L L \_ R T N \_ R E G < 0 : 3 > がレジスタ番号“14”を表すとき、論理“1”となり、それ以外の番号を表すとき、論理“0”となる。

#### 【0095】

AND回路91は、図5の信号+BR H I S \_ U P D A T E \_ S U B R O U T I N E \_ C A L Lと図9の信号+S B R T N \_ L I N K \_ R E G \_ V A Lの論理積を、AND回路92に出力する。AND回路92は、AND回路91の出力信号と信号-BR H I S \_ U P D A T E \_ S U B R O U T I N E \_ R T Nの論理積を、信号+BR \_ C O M P \_ S U B R O U T I N E \_ C A L Lとして出力する。

#### 【0096】

この信号+BR \_ C O M P \_ S U B R O U T I N E \_ C A L Lは、分岐予測機構22において、サブルーチンコール相当の命令を表すフラグ（サブルーチンコールフラグ）として用いられる。このフラグが論理“1”のとき、分岐命令実行処理回路25で実行された命令はサブルーチンコール相当の命令であると判別される。実行された命令がリンクレジスタとして番号“0”のレジスタを指定して

いた場合は、このフラグが論理“0”となり、サブルーチンコール相当の命令ではないと判別される。

#### 【0097】

また、EXNOR回路101は、図5の信号+BRHIS\_UPDATE\_C  
ALL\_RTN\_REG<0:3>と、信号+RTN\_LINK\_REG\_ST  
K0<0:3>を比較し、2つの信号の排他的論理和の否定を出力する。OR回  
路102は、EXNOR回路101の出力信号と信号+SBRTN\_LINK\_  
REG\_EQ\_Eの論理和を出力する。

#### 【0098】

そして、AND回路103は、図5の信号+BRHIS\_UPDATE\_SU  
BROUTINE\_RTNと、図9の信号+SBRTN\_LINK\_REG\_V  
ALと、図10の信号-SBRTN\_BASSM\_BSM\_RTN\_VALID  
と、OR回路102の出力信号の論理積を、信号+BR\_COMP\_SUBRO  
UTINE\_RTNとして出力する。

#### 【0099】

この信号+BR\_COMP\_SUBROUTINE\_RTNは、分岐予測機構  
22において、サブルーチンリターン相当の命令を表すフラグ（サブルーチンリ  
ターンフラグ）として用いられる。このフラグが論理“1”のとき、分岐命令実  
行処理回路25で実行された命令はサブルーチンリターン相当の命令であると判  
別される。この判別動作は、対応する分岐履歴情報がブランチヒストリ34やリ  
ターンアドレススタック35に登録される前に行われる。

#### 【0100】

EXNOR回路101、OR回路102、およびAND回路103からなるサ  
ブルーチンリターン判別回路は、図3の比較回路32に対応する。この判別回路  
によれば、EXNOR回路101により、実行されたサブルーチンリターン相当  
の命令になり得る命令の分岐先アドレスレジスタの番号がリンクスタック33の  
先頭エントリと比較され、それらが一致したとき、実行された命令がサブルーチ  
ンリターン相当の命令であると判別される。

#### 【0101】

ただし、前述したように、分岐予測機構 22 では、b a s s m 命令に対応する b s m 命令をリターン相当の命令として扱わないので、信号 - S B R T N \_ B A S S M \_ B S M \_ R T N \_ V A L I D により、AND 回路 103 の出力が抑制されている。

## 【0102】

また、慣習的に、番号“14”のレジスタは、サブルーチンリターンにおける分岐先アドレスレジスタとして用いられることが多い。そこで、このレジスタが分岐先アドレスレジスタとして指定された場合は、信号 + S B R T N \_ L I N K \_ R E Q \_ E Q \_ E を用いて、E X N O R 回路 101 の比較結果にかかわらず、実行された命令をサブルーチンリターン相当の命令とみなしている。

## 【0103】

サブルーチンリターン相当の命令であることを表す分岐先アドレスレジスタの番号として、“14”以外の特定の番号が用いられた場合も、図 11 と同様の回路により同様の制御が行われる。

## 【0104】

こうして生成されたサブルーチンコールフラグとサブルーチンリターンフラグを用いて、リンクスタック 33 は、図 12 のような制御回路によりプッシュ動作とポップ動作を行う。ここでは、リンクスタック 33 は 2 つのエントリからなるものとし、入力信号 + R T N \_ L I N K \_ R E G \_ S T K 0 < 0 : 3 > と + R T N \_ L I N K \_ R E G \_ S T K 1 < 0 : 3 > は、それぞれ、先頭エントリ（エントリ 0）と 2 番目のエントリ（エントリ 1）に保持されたレジスタ番号を表している。

## 【0105】

また、入力信号 - S B R T N \_ L I N K \_ R E Q \_ E Q \_ E は、図 11 の信号 + S B R T N \_ L I N K \_ R E Q \_ E Q \_ E の否定に対応し、入力信号 B R H I S \_ U P D A T E \_ T A K E N は、分岐命令による分岐が実行され、分岐履歴情報が更新されるときに、論理“1”となる。

## 【0106】

まず、AND 回路 111 は、これらの 2 つの信号の論理積を出力する。AND

回路 112 は、図 11 のフラグ+BR\_COMP\_SUBROUTINE\_CALL と AND 回路 111 の出力信号の論理積を、動作信号+PUSH\_RTN\_STACK\_LINK\_REG として出力する。この信号は、リンクスタック 33 およびリターンアドレススタック 35 のプッシュ動作の指示に用いられ、サブルーチンコール相当の命令が実行されて分岐履歴情報が更新されるときに、論理“1”となる。

## 【0107】

また、AND 回路 113 は、図 11 のフラグ+BR\_COMP\_SUBROUTINE\_RTN と AND 回路 111 の出力信号の論理積を、動作信号+POP\_RTN\_STACK\_LINK\_REG として出力する。この信号は、リンクスタック 33 およびリターンアドレススタック 35 のポップ動作の指示に用いられ、サブルーチンリターン相当の命令が実行されて分岐履歴情報が更新されるときに、論理“1”となる。

## 【0108】

ここで、リンクレジスタの番号として“14”を指定するサブルーチンコール相当の命令と、分岐先アドレスレジスタの番号として“14”を指定するサブルーチンリターン相当の命令は、常にコール・リターン命令対を形成するものとする。リンクスタック 33 を用いなくてもこれらの対応関係を抽出することができる。

## 【0109】

そこで、このような場合にリンクスタック 33 を動作させないように、信号-SBRTN\_LINK\_REQ\_EQ\_E を用いて、プッシュ動作およびポップ動作の動作信号を抑制している。これにより、リンクスタック 33 のエントリの浪費が防止され、少ない段数でも効率的な動作が可能になる。

## 【0110】

次に、AND 回路 114 は、図 5 の信号+BRHIS\_UPDATE\_CALL\_RTN\_REG<0:3> と動作信号+PUSH\_RTN\_STACK\_LINK\_REG の論理積を出力し、AND 回路 115 は、信号+RTN\_LINK\_REG\_STK1<0:3> と動作信号+POP\_RTN\_STACK\_L

INK\_REGの論理積を出力する。

【0111】

また、OR回路116は、AND回路114、115の出力信号の論理和を、信号+SET\_RTN\_LINK\_REG\_STK0<0:3>として出力する。この信号は、リンクスタック33の先頭エントリにセットされるレジスタ番号を表す。

【0112】

ここで、動作信号+PUSH\_RTN\_STACK\_LINK\_REGと+POP\_RTN\_STACK\_LINK\_REGが同時に論理“1”になることはないので、OR回路116は、AND回路114、115の出力信号を選択的に出力することになる。したがって、プッシュ動作の場合は、サブルーチンコール相当の命令により指定されたリンクレジスタの番号がセットされ、ポップ動作の場合は、リンクスタック33の2番目のエントリに保持されたレジスタ番号がセットされる。

【0113】

また、AND回路117は、信号+RTN\_LINK\_REG\_STK0<0:3>と動作信号+PUSH\_RTN\_STACK\_LINK\_REGの論理積を、信号+SET\_RTN\_LINK\_REG\_STK1<0:3>として出力する。この信号は、リンクスタック33の2番目のエントリにセットされるレジスタ番号を表し、プッシュ動作の場合は、リンクスタック33の先頭エントリに保持されたレジスタ番号に一致する。

【0114】

図13は、リンクスタック33内でレジスタ番号を保持するラッチ回路を示している。図13において、入力信号-PUSH\_POP\_RTN\_LINK\_REG\_STKは、プッシュ動作またはポップ動作が終了したときに論理“1”となる。

【0115】

ラッチ回路121は、図12の信号+SET\_RTN\_LINK\_REG\_STK0<0:3>を先頭エントリとしてラッチし、それを図12の信号+RTN



\_\_LINK\_\_REG\_\_STK0 <0:3> として出力する。また、ラッチ回路 122 は、図 12 の信号+SET\_\_RTN\_\_LINK\_\_REG\_\_STK1 <0:3> を 2 番目のエントリとしてラッチし、それを図 12 の信号+RTN\_\_LINK\_\_REG\_\_STK1 <0:3> として出力する。

## 【0116】

信号-PUSH\_\_POP\_\_RTN\_\_LINK\_\_REG\_\_STK が論理 “1” になると、これらのエントリへのレジスタ番号の登録が終了し、この信号が論理 “0” になるまで、登録されたレジスタ番号が保持される。

## 【0117】

ところで、前述した l p s w 命令（複雑命令）は、サブルーチンコール・リターン命令のいずれにもなり得るため、コール・リターンの対応関係を崩すものと考えられる。あるいはまた、割り込みが発生した場合、それが割り込み処理の後に元のプログラムに戻らない種類の割り込みであれば、やはり、コール・リターンの対応関係を崩すものと考えられる。

## 【0118】

そこで、このような事象（命令や割り込み等）が発生した場合には、その命令や割り込みの実行時に、リンクスタック 33 とリターンアドレススタック 35 のエントリをすべてクリアして、保持された情報を無効化する。

## 【0119】

図 14 は、分岐予測機構 22 内の無効化回路を示している。図 14 において、入力信号+MICRO\_\_PURGE\_\_RTN\_\_ADRS\_\_STK は、リンクスタック 33 とリターンアドレススタック 35 のエントリをクリアする信号であり、コール・リターンの対応関係を崩すような命令や割り込みが発生したときに、論理 “1” となる。

## 【0120】

NOR 回路 131 は、図 12 の動作信号+PUSH\_\_RTN\_\_STACK\_\_LINK\_\_REG と +POP\_\_RTN\_\_STACK\_\_LINK\_\_REG、および信号+MICRO\_\_PURGE\_\_RTN\_\_ADRS\_\_STK の論理和の否定を、図 13 の信号-PUSH\_\_POP\_\_RTN\_\_LINK\_\_REG\_\_STK として出力

する。

#### 【0121】

したがって、信号+MICRO\_PURGE\_RTN\_ADRS\_STKが論理“1”となると、信号-PUSH\_POP\_RTN\_LINK\_REG\_STKが論理“0”となり、図13のラッチ回路121、122に保持されたレジスタ番号がクリアされる。

#### 【0122】

また、サブルーチンコールに対応する戻り先、すなわち、サブルーチンコール相当の命令の直後の命令アドレスに戻らないサブルーチンリターン相当の命令を認識した場合、ブランチヒストリ34に、そのサブルーチンリターン相当の命令の戻り先が異なることを示すフラグを設定することができる。

#### 【0123】

図15は、RSBR36において、このようなフラグを生成する回路を示している。図15において、入力信号+D\_BCは、デコーダ23によりオペレーションコード“bc”が検出されたときに、論理“1”となる。入力信号-D\_DISP\_EQ\_0は、命令により指定されたディスプレイメントが0でないときに、論理“1”となる。

#### 【0124】

また、入力信号+D\_BR\_EQ\_E、+D\_XR\_EQ\_Eは、それぞれ、命令により指定されたベースレジスタ、インデックスレジスタの番号が“14”のときに、論理“1”となる。これらの信号は、デコーダ23からRSBR36に出力される。

#### 【0125】

OR回路141は、信号+D\_BR\_EQ\_Eと+D\_XR\_EQ\_Eの論理和を表す信号を出力し、AND回路142は、信号+D\_BCと-D\_DISP\_EQ\_0、およびOR回路141の出力信号の論理積を、信号+D\_BC\_GIDDI\_RTNとして出力する。

#### 【0126】

また、ラッチ回路143は、OR回路141からの信号+D\_BC\_GIDD

Y\_RTNをラッチし、信号+RSBR\_BC\_GIDDY\_RTNとして出力する。この信号は、対応するRSBR36が有効である間、ラッチ回路143に保持され、サブルーチンリターン相当の命令の戻り先が異なることを示すフラグとして用いられる。

#### 【0127】

このフラグ+RSBR\_BC\_GIDDY\_RTNは、信号+BRHIS\_UPDATE\_BC\_GIDDY\_RTNとして分岐予測機構22に送出され、図16に示すように、ブランチヒストリ34のエントリのフラグGIDDY\_RTNに設定される。

#### 【0128】

図16のブランチヒストリ34のエントリには、フラグGIDDY\_RTN以外に、分岐命令アドレスIAR、分岐先アドレスTIAR、およびフラグCALL、RTNが格納されている。フラグCALL、RTNは、それぞれ、サブルーチンコールフラグ、サブルーチンリターンフラグに対応する。

#### 【0129】

例えば、ディスプレイメントdが0でないような分岐命令“bc m. d (14)”がデコードされた場合、信号+D\_BC\_GIDDY\_RTNが論理“1”となり、フラグ+RSBR\_BC\_GIDDY\_RTNが立つ。したがって、ブランチヒストリ34にこの分岐命令が登録されたとき、対応するフラグGIDDY\_RTNに論理“1”が格納される。

#### 【0130】

予測回路31による分岐予測時に、このフラグGIDDY\_RTNが立っていた場合、リターンアドレススタック35はリターン命令を予測したときと同様のポップ動作を行うが、予測回路31は、リターンアドレススタック35からポップされた分岐先アドレスではなく、ブランチヒストリ34に登録された分岐先アドレスを、予測分岐先アドレスとして出力する。したがって、ブランチヒストリ34により予測された分岐先の命令フェッチが行われ、リターンアドレススタック35による予測結果は廃棄される。

#### 【0131】

上述した実施形態においては、リンクスタック 33 に登録されたリンクレジスタの番号と、実行された（実行される）命令の分岐先アドレスレジスタの番号を比較することで、その命令がサブルーチンリターン相当の命令であるか否かを判別している。これ以外の他の実施形態として、リンクスタック 33 を用いず、リターンアドレススタック 35 に登録されている戻り先アドレスと、実行された（実行される）命令の分岐先アドレスを比較することで、同様の判別を行うことも考えられる。

#### 【0132】

この方法では、上述した bc 命令等のように、戻り先がコール命令の直後とならないリターン相当の命令が出現すると、認識されるコール・リターン対の対応関係が崩れてしまい、リターンアドレススタック 35 の本来の性能が発揮できない。しかし、リンクスタック 33 を新たに設ける必要がないというメリットがある。

#### 【0133】

図 17 は、分岐予測機構 22 内でこのような判別を行う回路を示している。図 17 において、信号 +BRHIS\_UPDATE\_TIAR は、サブルーチンリターン相当の命令になり得る命令の分岐先アドレスを表し、RSBR36 から送出される。

#### 【0134】

比較回路 151 は、この信号 +BRHIS\_UPDATE\_TIAR をリターンアドレススタック 35 の先頭エントリ（エントリ 0）と比較し、それらが一致すると論理“1”の信号を出力する。ここでは、リターンアドレススタック 35 は、n 段のスタックとして示されている。AND 回路 152 は、図 5 の信号 +BRHIS\_UPDATE\_SUBROUTINE\_RTN と比較回路 151 の出力信号の論理積を、図 12 の信号 +BR\_COMP\_SUBROUTINE\_RTN として出力する。

#### 【0135】

図 17 の判別回路は、図 11 に示したサブルーチンリターン相当の命令の判別回路の代用となり、リンクスタック 33 のエントリを参照しなくても、サブルー

チンリターンフラグを生成することができる。したがって、この場合、リンクスタック 3 3 は不要となる。

【0 1 3 6】

以上説明した実施形態においては、主として、リンクスタック 3 3 およびリターンアドレススタック 3 5 を 2 段のスタックとしているが、任意の段数のスタックを用いた場合も、同様の制御を行うことができる。また、レジスタ番号や命令アドレス以外にも、サブルーチンの戻り先アドレスを指定する任意の情報を比較することで、サブルーチンコール・リターン命令対を認識することができる。

【0 1 3 7】

【発明の効果】

本発明によれば、リターンアドレススタック等の分岐予測機構を有する情報処理装置において、正しいサブルーチンコール・リターン命令対を動的に抽出することができる。したがって、分岐予測機構におけるコール・リターン対の対応関係のズレが防止され、サブルーチンリターン相当の命令の分岐予測の精度が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の分岐予測装置の原理図である。

【図 2】

命令コードを示す図である。

【図 3】

命令処理装置の構成図である。

【図 4】

リンクスタックとリターンアドレススタックの対応関係を示す図である。

【図 5】

命令処理装置で用いられる信号を示す図である。

【図 6】

第 1 の判別回路を示す図である。

【図 7】

登録回路を示す図である。

【図 8】

選択回路を示す図である。

【図 9】

第 1 の識別回路を示す図である。

【図 1 0】

第 2 の識別回路を示す図である。

【図 1 1】

第 2 の判別回路を示す図である。

【図 1 2】

制御回路を示す図である。

【図 1 3】

ラッチ回路を示す図である。

【図 1 4】

無効化回路を示す図である。

【図 1 5】

フラグ生成回路を示す図である。

【図 1 6】

ブランチヒストリに登録されるエントリを示す図である。

【図 1 7】

第 3 の判別回路を示す図である。

【図 1 8】

サブルーチンコール・リターン命令対を示す図である。

【符号の説明】

- 1 格納手段
- 2 比較手段
- 3 識別手段
- 4 スタック手段
- 5 プッシュ手段

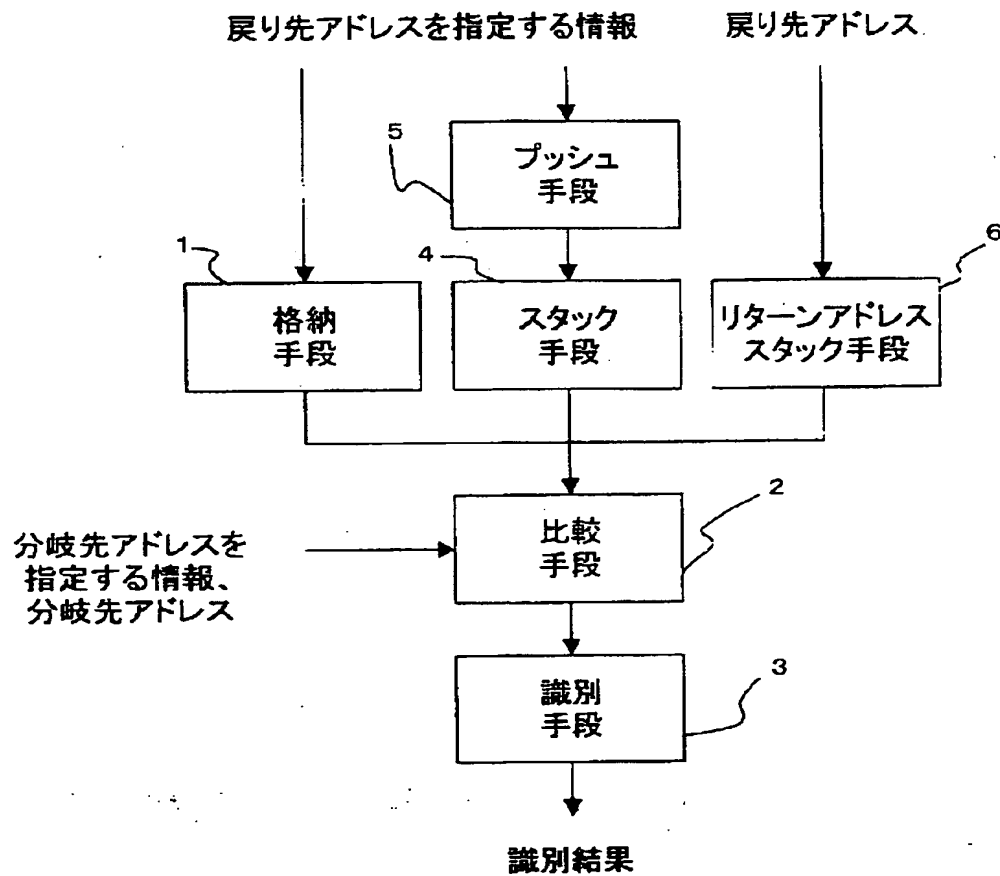
- 6 リターンアドレススタック手段
  - 11 オペレーションコード
  - 12、13 オペランド
  - 21 命令フェッチ回路
  - 22 分岐予測機構
  - 23 デコーダ
  - 24 分岐先アドレス生成回路
  - 25 分岐命令実行処理回路
  - 26 命令実行完了処理回路
  - 31 予測回路
  - 32、151 比較回路
  - 33 リンクスタック
  - 35 リターンアドレススタック
  - 36 RSB R
  - 41、61、62、81、91、92、103、111、112、113、114、115、117、142、152 AND回路
  - 42、43、63、82、102、116、141 OR回路
  - 51、52、83、121、122、143 ラッチ回路
  - 71、84 NAND回路
  - 101 EXNOR回路
  - 131 NOR回路

【書類名】

図面

【図 1】

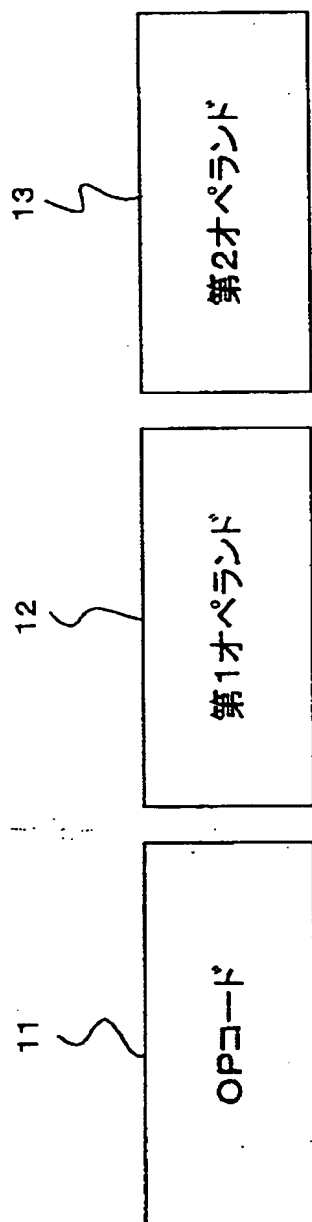
# 本発明の原理図





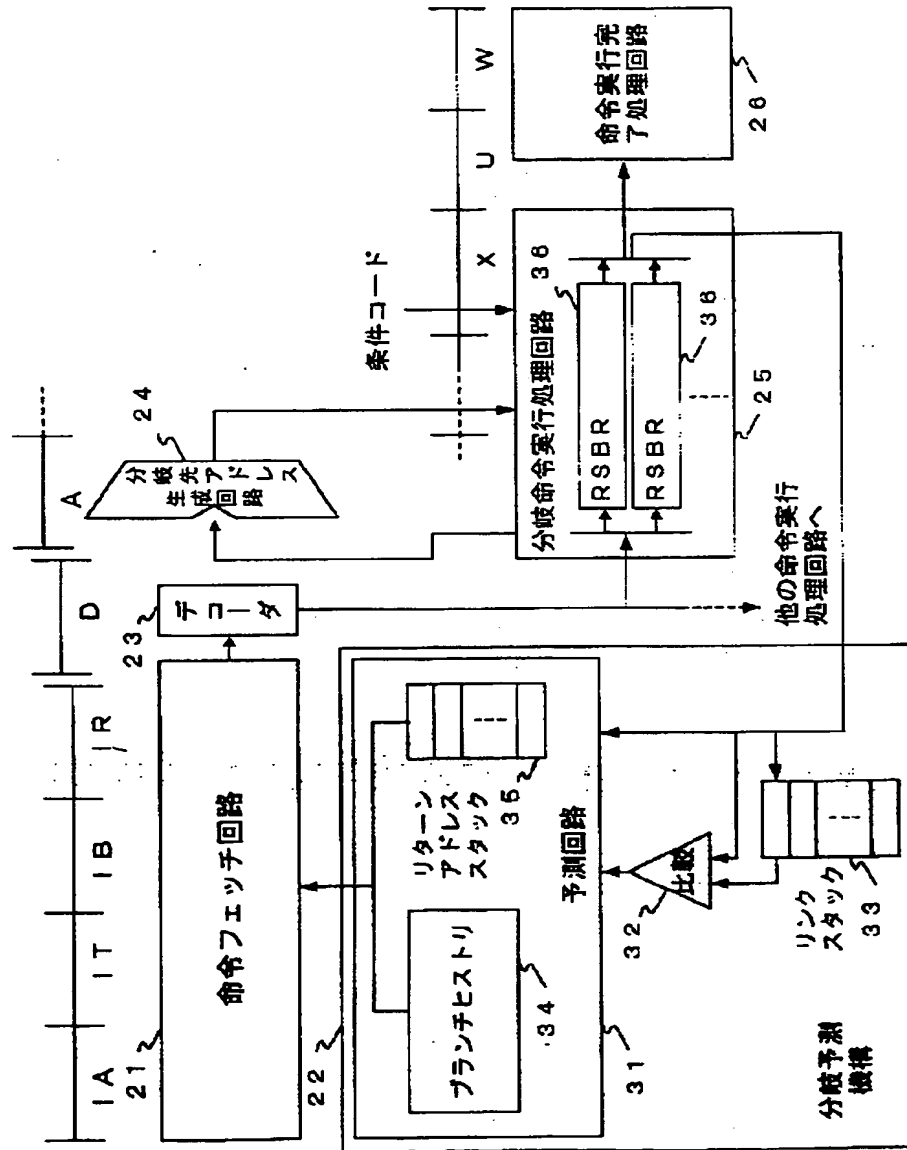
【図 2】

命令コードを示す図



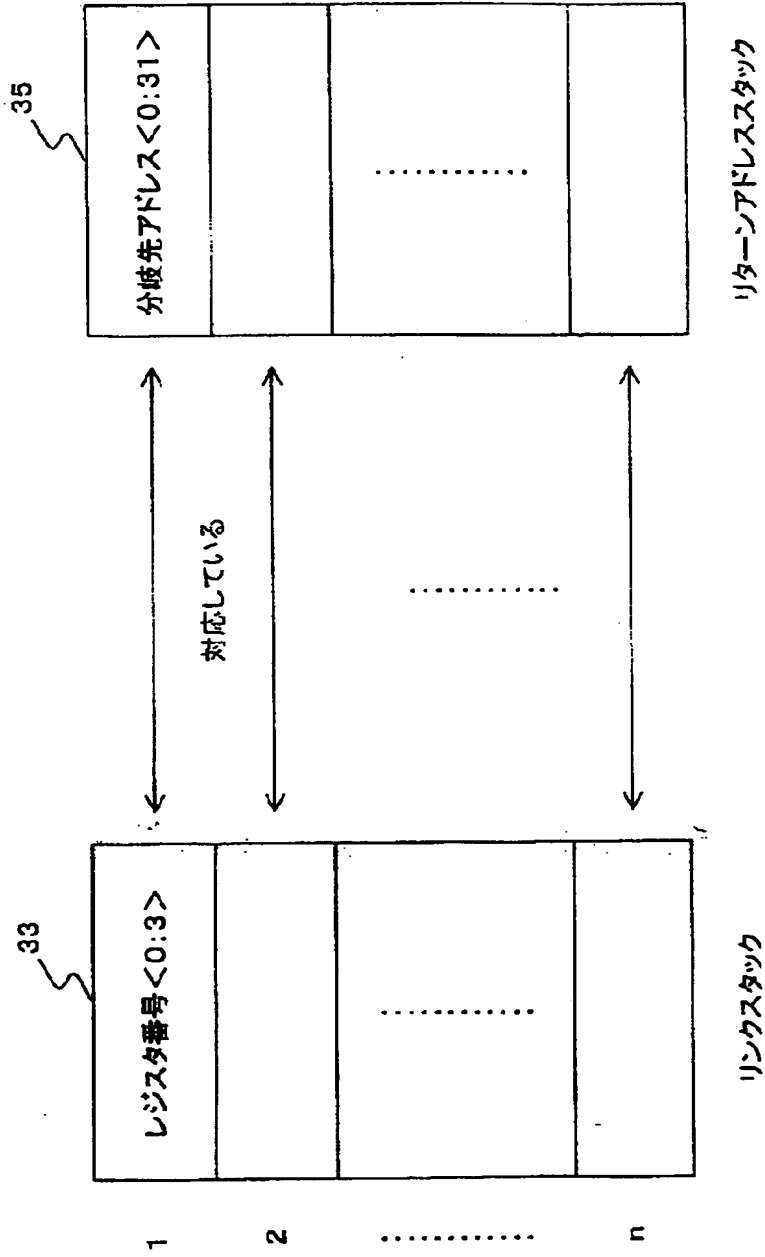
【図 3】

命令処理装置の構成図



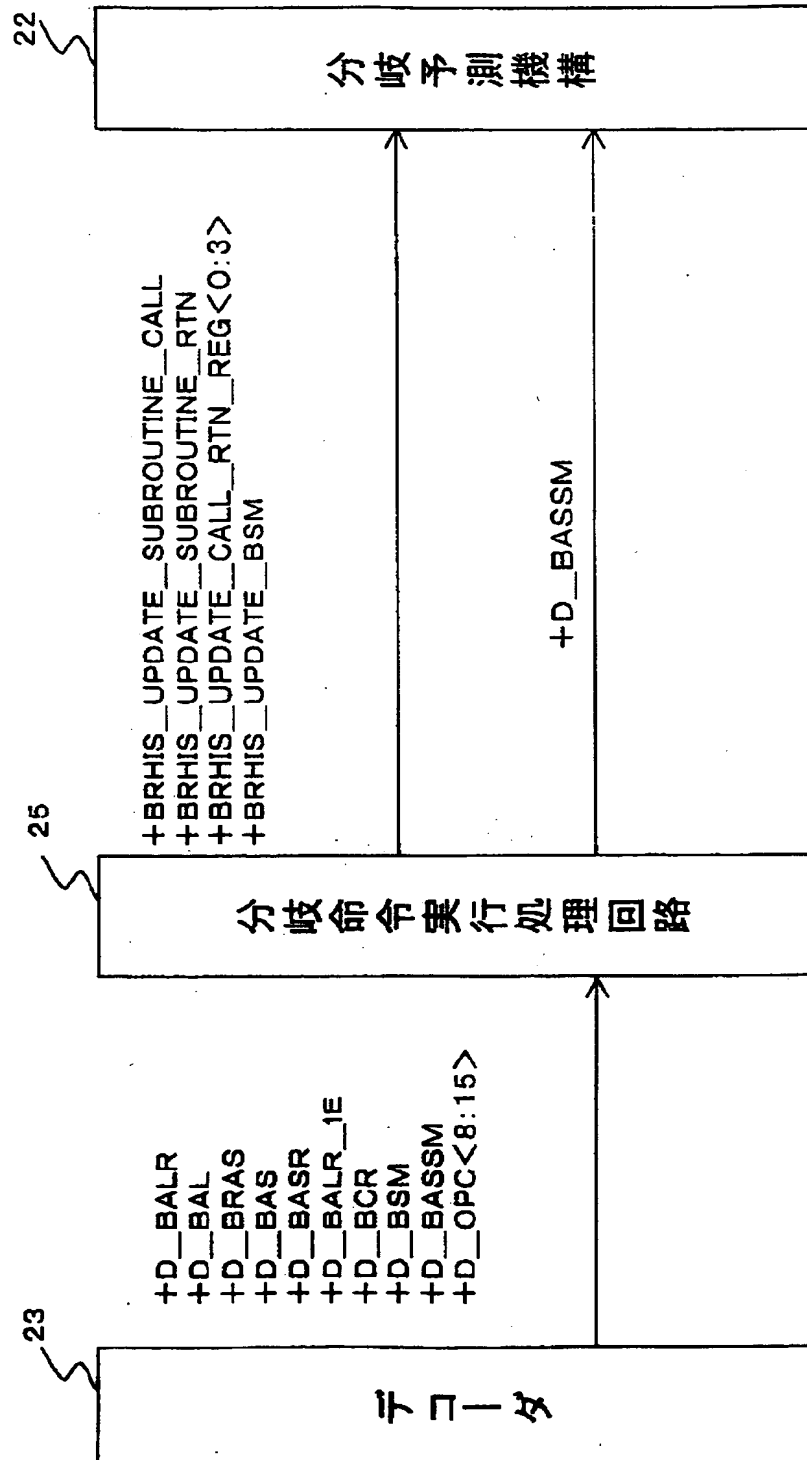
【図 4】

リンクスタックとリターンアドレススタックの対応関係を示す図



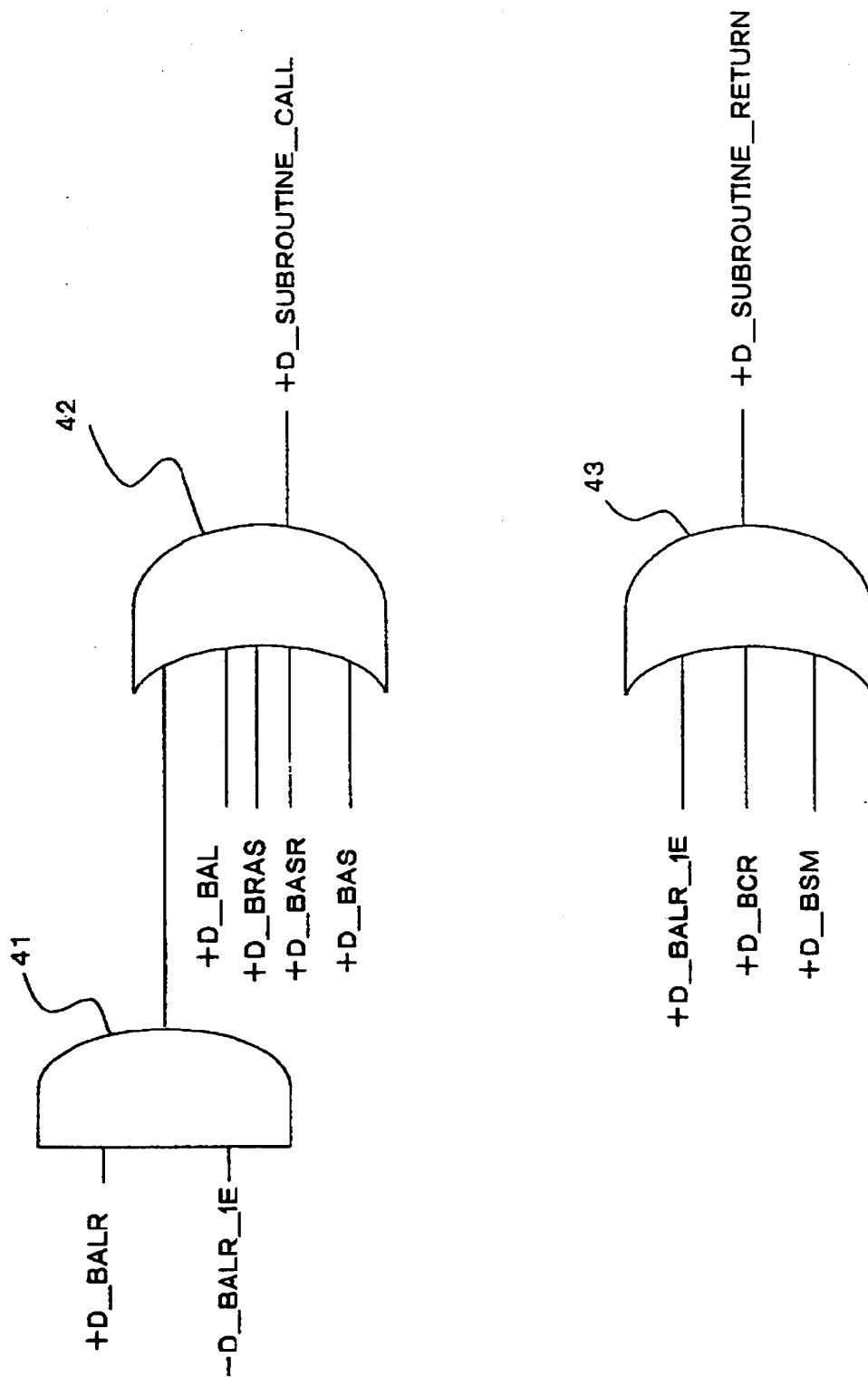
【図 5】

命令処理装置で用いられる信号を示す図



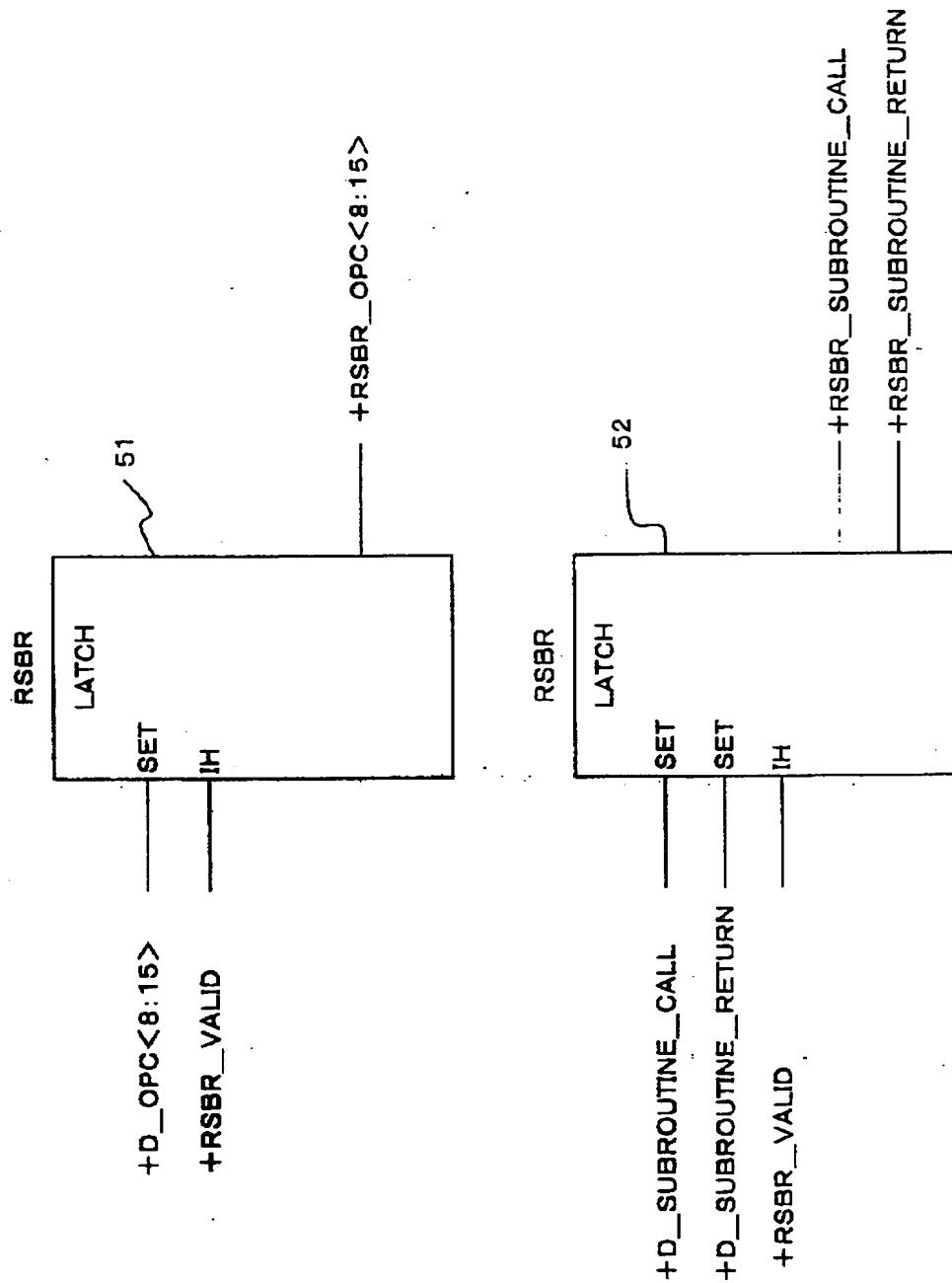
【図 6】

# 第1の判別回路を示す図



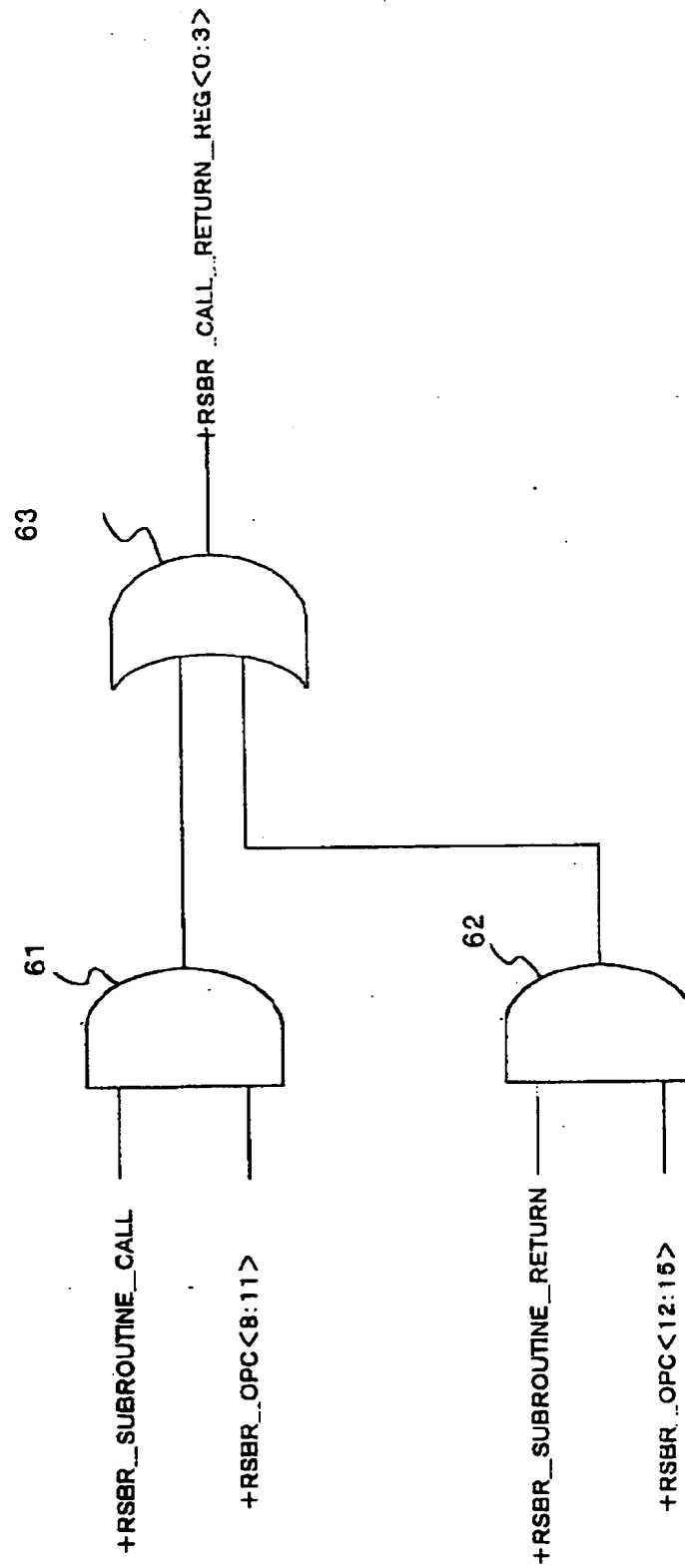
【図 7】

登録回路を示す図



【図 8】

# 選択回路を示す図

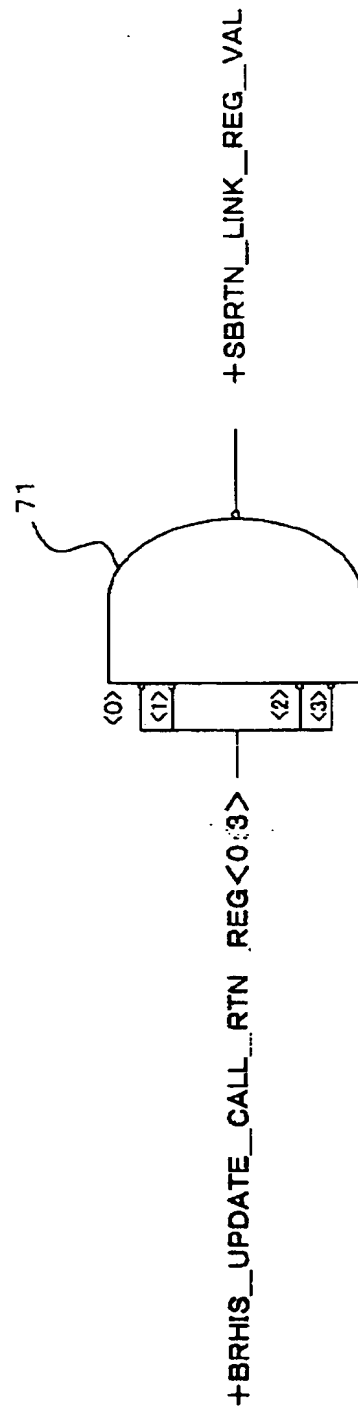




特平 1 1 - 2 7 6 2 2 1

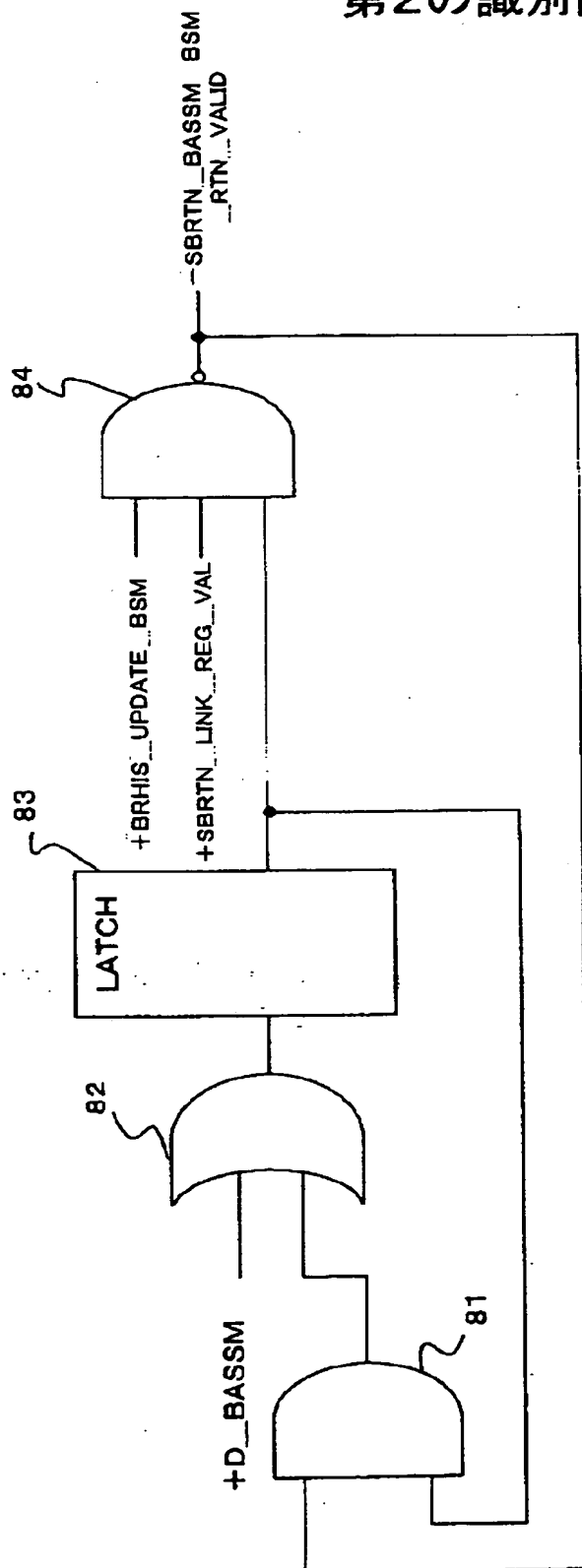
【図 9】

# 第1の識別回路を示す図



【図 1 0】

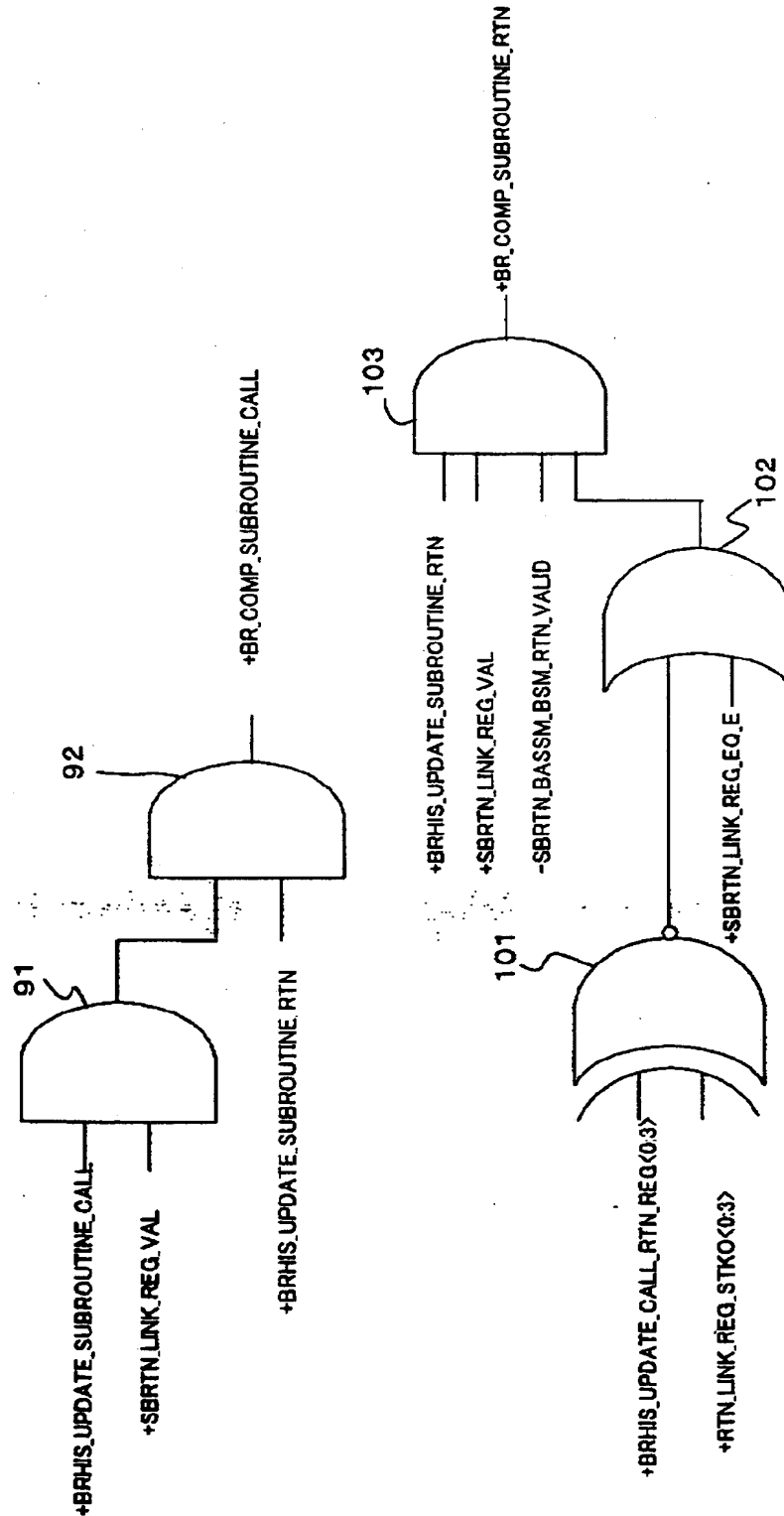
## 第2の識別回路を示す図



特平 1 1 - 2 7 6 2 2 1

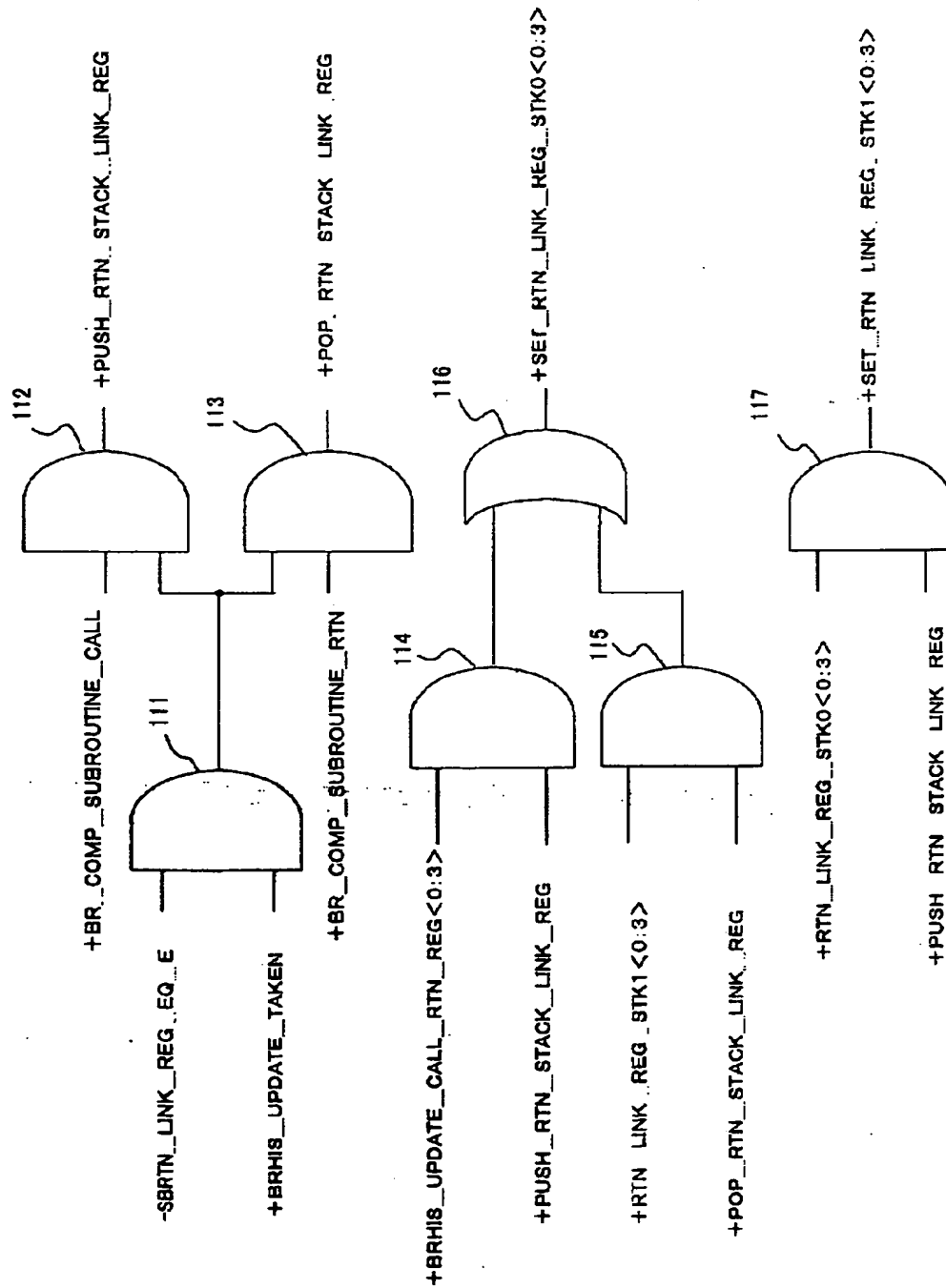
【図 1 1】

## 第2の判別回路を示す図



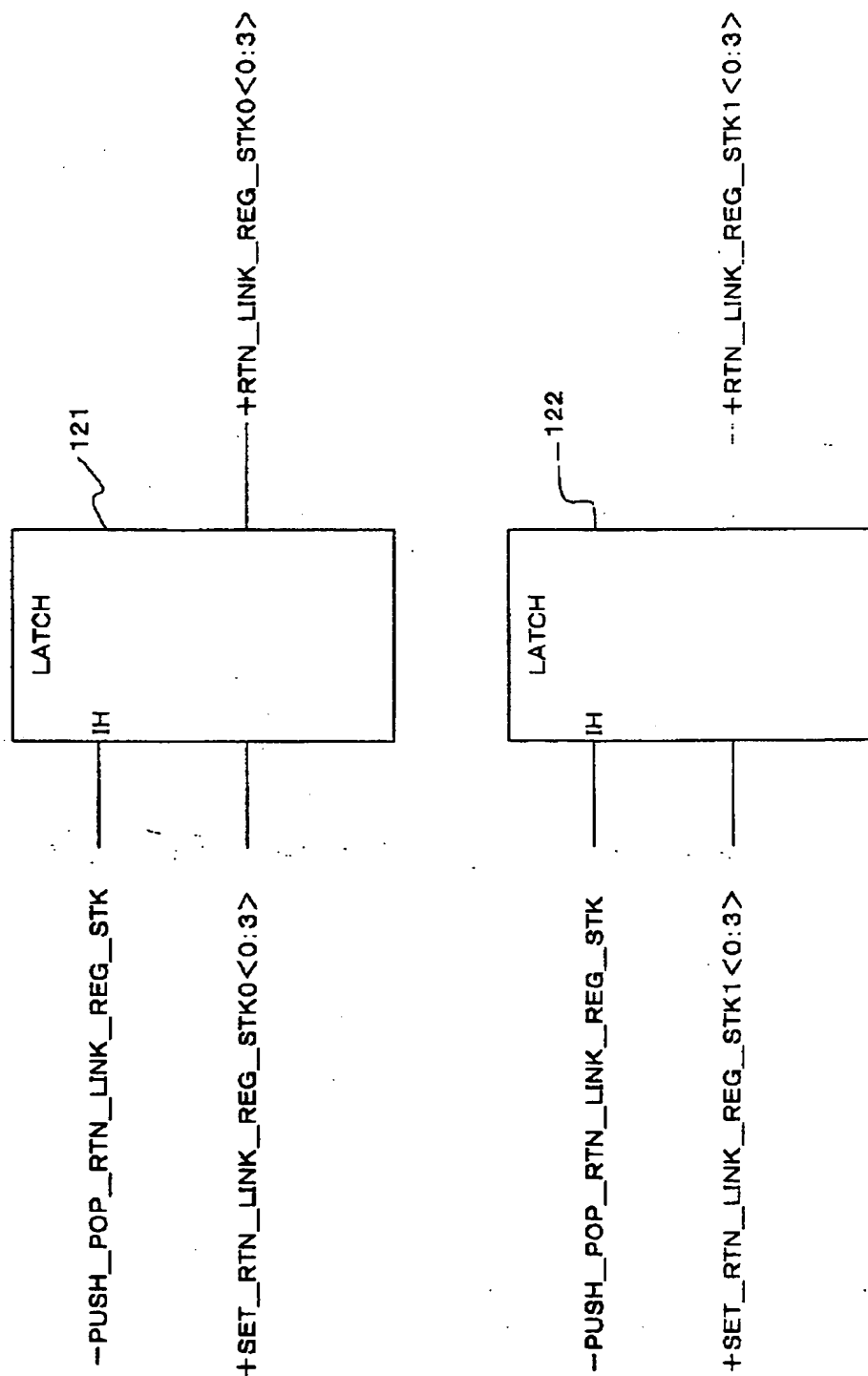
【図 1 2】

制御回路を示す図



【図 1 3】

# ラッチ回路を示す図

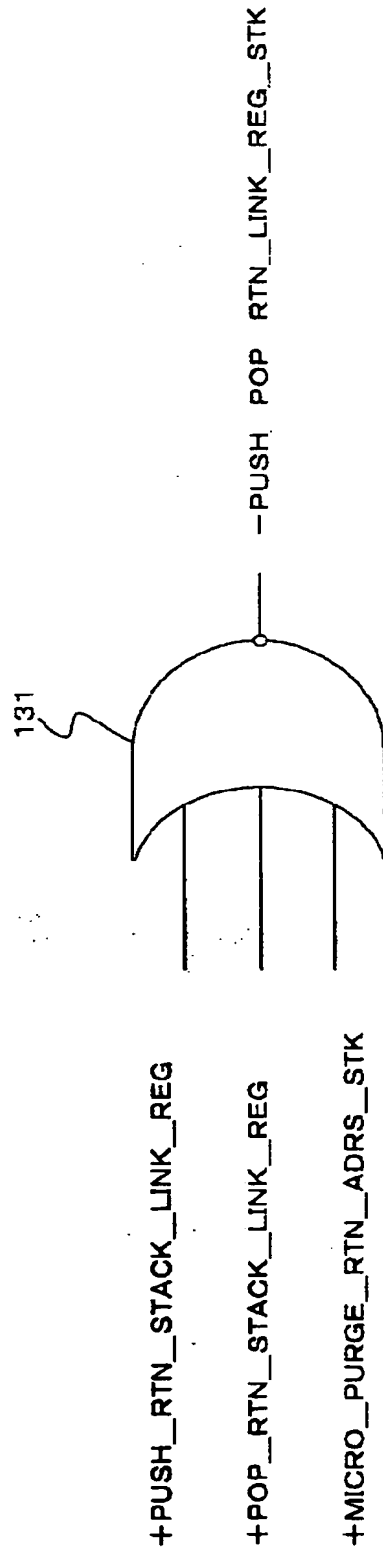




特平 1 1 - 2 7 6 2 2 1

【図 1 4】

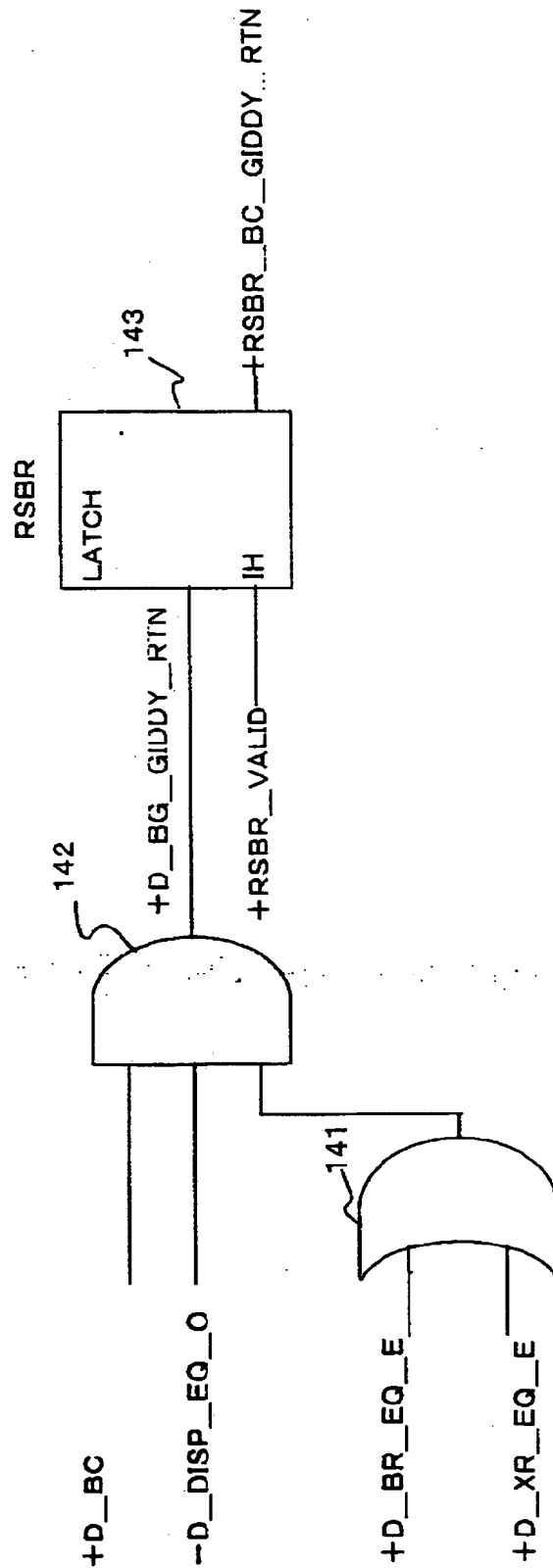
# 無効化回路を示す図



特平 1 1 - 2 7 6 2 2 1

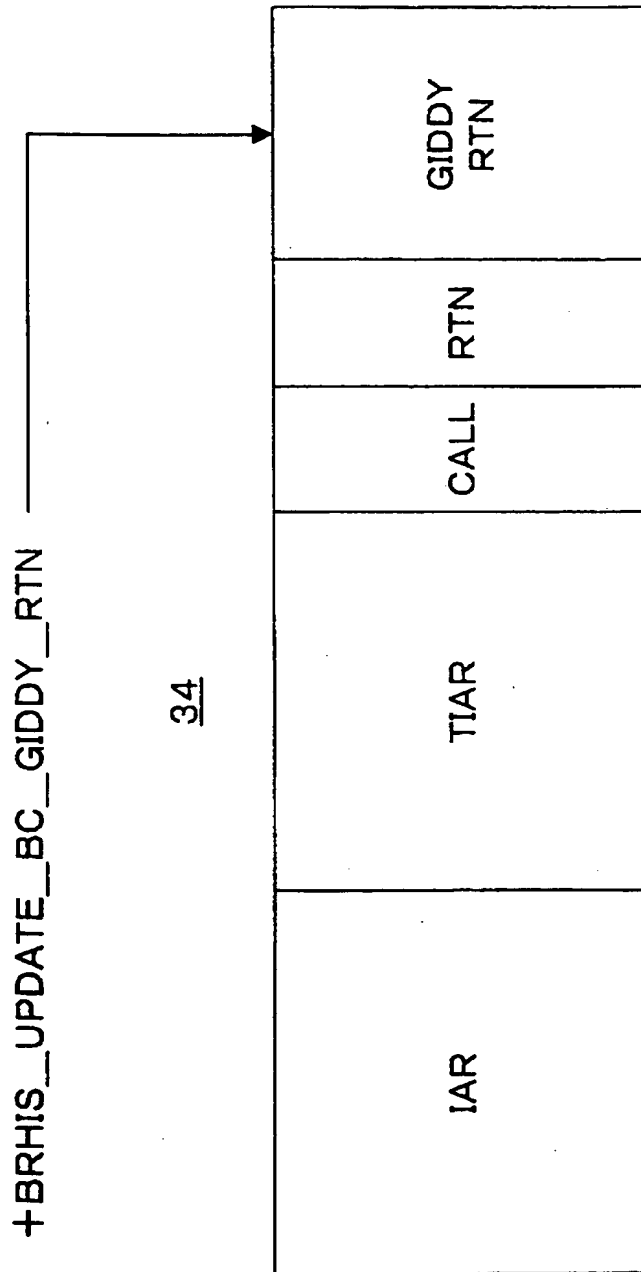
【図 1 5】

# フラグ生成回路を示す図



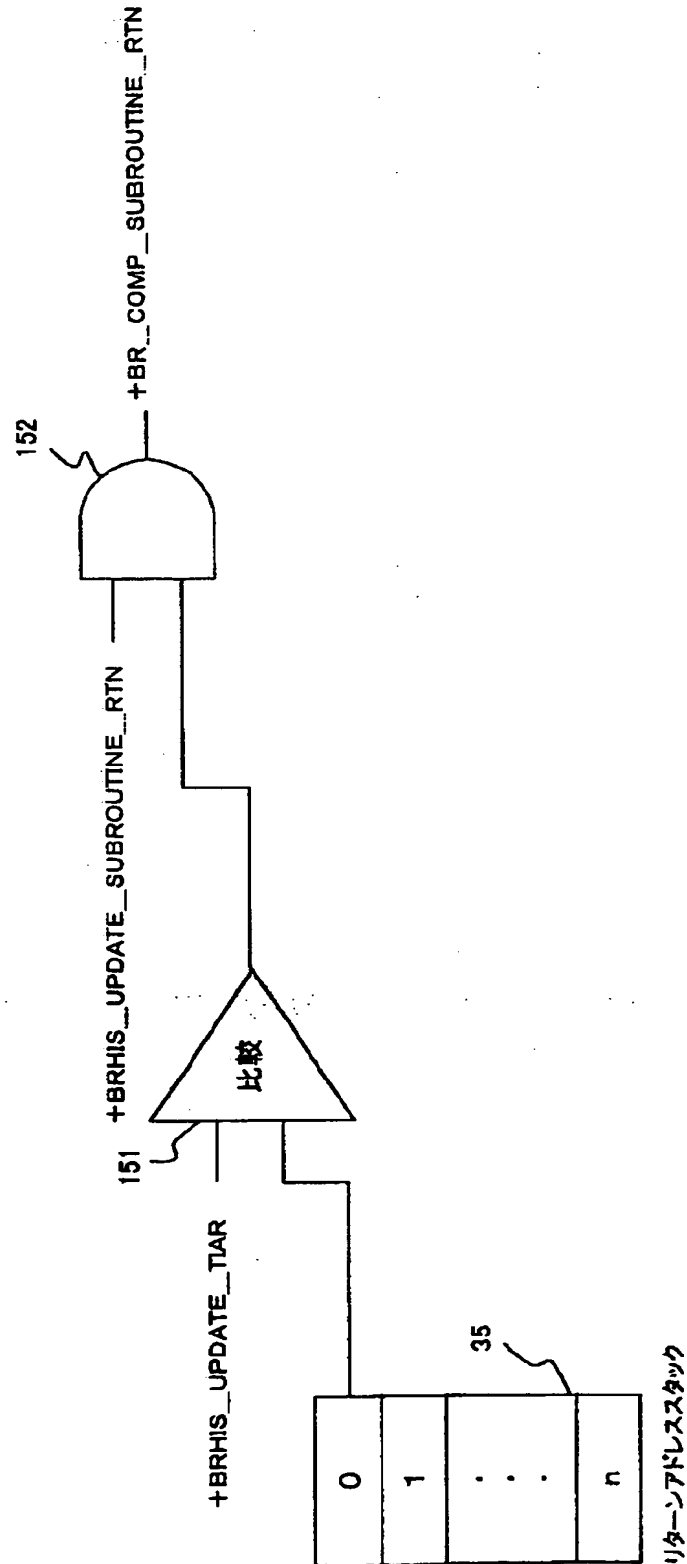
【図 1 6】

ブランチヒストリに  
登録されるエントリを示す図



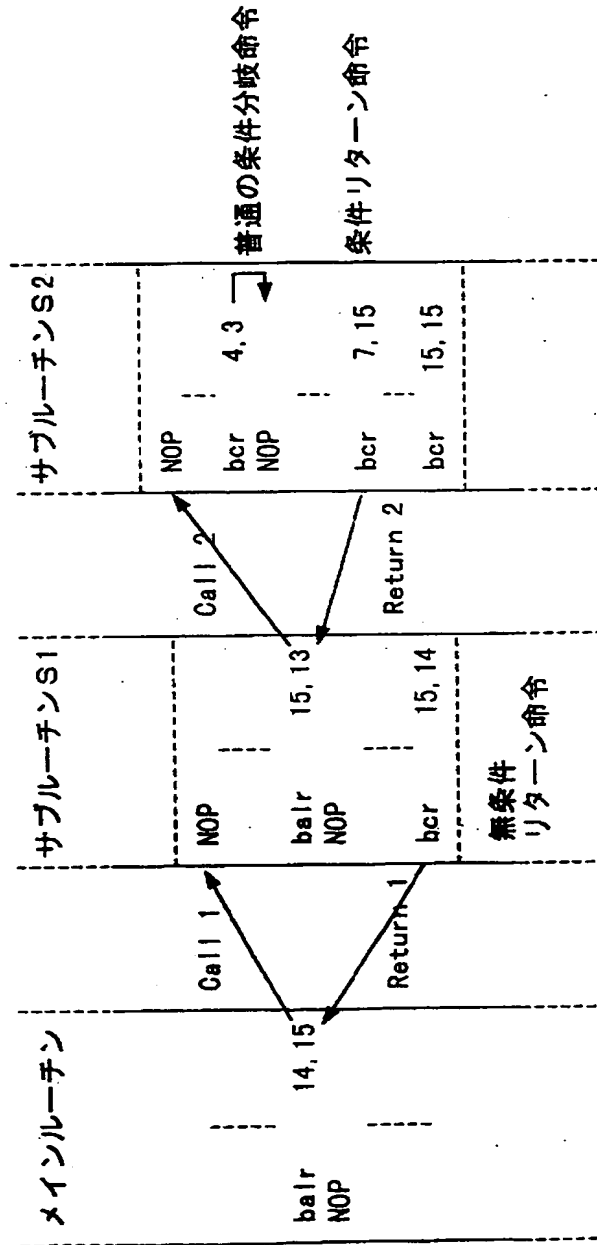
【図 1 7】

### 第3の判別回路を示す図



【図 1 8】

サブルーチンコール・リターン命令対  
を示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 サブルーチンリターンのための特別な命令が用意されていない情報処理装置において、サブルーチンリターン相当の命令を正しく認識することが課題である。

【解決手段】 サブルーチンコール相当の命令により指定されたリンクレジスタのレジスタ番号をリンクスタック 3 3 に記録しておき、比較回路 3 2 により、サブルーチンリターンの可能性のある分岐命令の分岐先アドレスレジスタの番号を、記録されたレジスタ番号と比較する。そして、両者が一致すれば、その分岐命令をサブルーチンリターン相当の命令と認識する。

【選択図】 図 3



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名 富士通株式会社